

Aus der Prothetischen Abteilung der Klinik
und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
Direktor: Prof. Dr. F. Jung

**Die Härte
von Kobalt-Chrom-Legierungen
nach wiederholtem Verguß**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
Mainz

vorgelegt von
Helmut Stöckinger
aus Tauberbischofsheim

Mainz 1970

1971

Aus der Prothetischen Abteilung der Klinik
und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
Direktor: Prof. Dr. F. Jung

D I E H Ä R T E
V O N K O B A L T - C H R O M - L E G I E R U N G E N
N A C H W I E D E R H O L T E M V E R G U S S

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
Mainz

vorgelegt von
Helmut Stöckinger
aus
Tauberbischofsheim

Mainz 1970



Dekan: Professor Dr. P. Schölmerich
Referent: Professor Dr. H. Marx
Korreferent: Professor Dr. F. Jung

Tag der mündlichen Prüfung: 12.2.1971

I N H A L T

=====

	Seite
1. AUFGABENSTELLUNG	6
2. ÜBERBLICK ÜBER DEN DERZEITIGEN STAND WISSENSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGEN VON KOBALT-CHROM-LEGIERUNGEN	7
2.1. Entwicklung und Verbreitung der Co-Cr-Legierungen	7
2.2. Zusammensetzung und Eigenschaften	8
2.2.1. Zusammensetzung der Legierung und Eigenschaften der Komponenten	8
2.2.2. Physikalische Eigenschaften	9
2.3. Gießen	10
2.3.1. Die üblichen Gußverfahren	10
2.3.2. Untersuchungsergebnisse beim Erschmelzen mit Azetylen-O ₂	10
2.3.3. Untersuchungsergebnisse beim Erschmelzen mit Hochfrequenz- Induktion	11
2.4. Temperaturbehandlungen	12
2.4.1. Abkühlung	12
2.4.2. Wärmebehandlung	12
2.5. Kritik	13
3. METHODE DER EIGENEN UNTERSUCHUNG	15
3.1. Die ausgewählten Legierungen und Gußverfahren	15
3.2. Gußschema und Messungen	15
3.3. Proben für Schliffbilder und Analysen	16

6.1.2.2. Verlauf der Härte- kurven innerhalb der Gußverfahren	35
6.1.2.3. Differenzen der Härte- werte bei Guß 1, 9 und 10 zwischen den Verfahren	36
6.1.2.4. Höchstwerte	37
6.2. Schliffbilder	53
6.3. Chemische Analysen	62
7. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	67
7.1. Härteergebnis	67
7.2. Schliffbilder	68
7.3. Chemische Analyse	69
8. ZUSAMMENFASSUNG	72
9. ANHANG (Tabelle 4 - 69)	73
10. LITERATURVERZEICHNIS	92
11. VERZEICHNIS DER TABELLEN UND ABBILDUNGEN	96

1. AUFGABENSTELLUNG

Es soll untersucht werden, wie sich die Härte von Kobalt-Chrom-Legierungen nach wiederholtem Verguß bei drei verschiedenen Gußverfahren verhält. Dazu sollen zwei handelsübliche Co-Cr-Legierungen mit dem Azetylen-Sauerstoffbrenner und zwei verschiedenen Hochfrequenz-Induktionsmaschinen 10 mal erschmolzen und zu Prüfkörpern vergossen werden. Nach jedem Guß ist die Härte zu messen. Jeweils vom ersten und zehnten Guß sollen Schliffbilder und chemische Analysen der verarbeiteten Legierungen hergestellt werden.

2. ÜBERBLICK ÜBER DEN DERZEITIGEN STAND WISSENSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGEN VON KOBALT-CHROM-LEGIERUNGEN.

2.1. Entwicklung und Verbreitung.

Co-Cr-Legierungen wurden in den USA erstmals von Haynes (13) im Jahre 1907 eingeführt; er hatte festgestellt, daß die Härte dieser Legierungen durch Zusatz von Wolfram und Molybdän oder beider Elemente erheblich gesteigert wird (1), insbesondere bei Anwesenheit kleinerer Mengen von Kohlenstoff, Bor oder Silizium (23, S. 19). Als erster Deutscher untersuchte sie der Physiker Tammann in Göttingen im Jahre 1908 und berichtete über ihre Sprödigkeit und Härte (14). In den Jahren 1929-1933 entwickelten Prange und Erdle, USA, eine modifizierte Co-Cr-Legierung, die sie Vitallium nannten (13). Von dieser Legierung unterscheiden sich die heutigen Fabrikate nur durch Veränderungen in der Zusammensetzung, die jedoch zu erheblichen Verbesserungen der mechanischen Eigenschaften führten. HAUPTMEYER (20) gibt für das damalige Gußmetall Vitallium eine Zusammensetzung von 28% Chrom, 67% Kobalt und 5% Wolfram sowie eine Brinellhärte von nur 260 kg/mm^2 an. Komponenten und Eigenschaften des heutigen Vitallium zeigen die Tabellen 2 und 3, Seite 18 und 19.

Seit der Einführung der skelettierten Gußprothese von Roach, Kennedy und Cummer begann die Verbreitung der Co-Cr-Legierungen in der Zahnheilkunde, da sie sich als geeignetster Werkstoff für Prothesengerüste erwiesen; sie verdrängten die Goldlegierungen, aus denen die Einstückgußprothesen anfänglich hergestellt wurden, aus diesem Anwendungsgebiet (14). Nach LANE (22) kamen im Jahre 1949 fünf gegossene Gerüste aus Co-Cr-Legierungen auf eines aus Edelmetall,

und inzwischen dürfte sich das Verhältnis zugunsten der Co-Cr-Legierungen noch weiter verbessert haben.

2.2. Zusammensetzung und Eigenschaften.

2.2.1. Zusammensetzung der Legierung und Eigenschaften der Komponenten.

Die handelsüblichen Kobalt-Chrom-Legierungen für den Dentalgebrauch bestehen aus 7 bis 8 Komponenten. In der Zusammensetzung haben Co etwa 6/10 und Cr 3/10 Anteile, in den Rest teilen sich Molybdän, Eisen, Mangan, Silizium, Kohlenstoff und gelegentlich Aluminium und Wolfram. Anglo-amerikanische Legierungen haben zum Teil einen geringen Nickel-Zusatz. Co und Cr bilden ein homogenes austenitisches Gefüge; Härte, Festigkeit und Schwerkverformbarkeit werden durch die hexagonale Kristallgitterform (ϵ -Phase entsprechend der Hume-Rothery-Regel (6, S.144)) des Co bedingt, die beim Abkühlen unterhalb des Schmelzbereiches aus der γ -Phase entsteht (14).

Die übrigen Komponenten bewirken allgemein eine Kornverfeinerung und damit die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften. Vor allem wird durch die Veredelung dem harten Material seine Sprödigkeit genommen. Im einzelnen dient Molybdän mit einem Anteil von rund 5% der Stabilisierung des Gefüges, insbesondere indem es die Umwandlung in das raumzentrierte α -Gitter unterdrückt (24, S.866) und allzugroßes Wachstum des Kornes verhindert (23, S.21). Kohlenstoff mit einem Gehalt bis 0,4 % bedingt eine Steigerung der Härte. Er wird als Chromcarbid primär an den Korngrenzen ausgeschieden. Durch Zusatz von Silizium (bis 1%) resultiert eine

Zunahme der Leichtflüssigkeit und Festigkeit, und schließlich wirkt Mangan als Desoxidationsmittel (0,3 bis 1% Anteil) und hat eine Steigerung der Dehnung zur Folge (14; 17) und nach QUINQUE (23,S.18) auch einen Härteanstieg.

2.2.2. Physikalische Eigenschaften.

Kobalt-Chrom-Legierungen sind korrosionsbeständig und gewebefreundlich bei ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften. Wegen ihrer Leichtflüssigkeit eignen sie sich zum Gießen feinsten Modellierungen (27). Den unterschiedlichen Zusammensetzungen der Co-Cr-Legierungen seitens der Hersteller entsprechen die physikalischen Eigenschaften, welche allerdings darüber hinaus von der industriellen Aufbereitung sowie von der Verarbeitung im zahntechnischen Laboratorium abhängig sind (12). Zusammengefaßt nach der Tabelle von ELBRÉCHT (14) haben die in Deutschland handelsüblichen Co-Cr-Legierungen folgende Eigenschaften:

Spezifisches Gewicht	8,0-8,4	g/cm ³
Schmelzpunkt	1370-1426	°C
Streckgrenze	63-61	kg/mm ²
Zugfestigkeit	89-120	kg/mm ²
Brinellhärte	330-365	kg/mm ²
Dehnung	5-10	%
Elastizitätsmodul	ca.19000	kp/mm ²

Zu erwähnen ist noch die Gußkontraktion der Co-Cr-Legierungen, die mit 2,4% deutlich höher als die der Goldlegierungen (1,35-1,5) ist (27). Sie wird jedoch durch spezielle Einbettmassen ausgeglichen.

2.3. Gießen.

2.3.1. Die Gußverfahren.

Das Gießen von Co-Cr-Legierungen erfordert dem verhältnismäßig hohen Schmelzpunkt entsprechend geeignete Verfahren. Das Erschmelzen wird entweder mit dem Azetylen-Sauerstoffbrenner vorgenommen, was heute noch die gebräuchlichste Methode ist, oder es geschieht mit Hilfe einer Induktions-Gußmaschine, die durch Hochfrequenzströme mit Hilfe einer Arbeitsspule im Schmelzgut Wirbelströme induziert, wobei durch die entstehende Joule'sche Wärme das Schmelzen erfolgt (3). Zum Teil sind diese Maschinen mit optischen Pyrometern zur Temperaturkontrolle ausgerüstet und lösen das Einschleudern des flüssigen Metalles in die Muffel automatisch aus, zum Teil wird das Erschmelzen vom Techniker direkt beobachtet, und das Auslösen des Schleudervorganges erfolgt dann von Hand. Vom Schmelzen im Kohlelichtbogen ist man heute abgekommen, weil dieses Verfahren, insbesondere nach mehrmaligem Einschmelzen der Legierung, zum Anstieg des Kohlenstoffgehaltes und zur Kornvergrößerung sowie den damit verbundenen Änderungen der mechanischen Eigenschaften führt (23, S. 55; 25).

2.3.2. Untersuchungsergebnisse bei Azetylen-O₂.

In einer Untersuchung über das Erschmelzen von Co-Cr-Legierungen mit Azetylen-O₂ stellte HARCOURT (16) fest, daß die geringsten Abweichungen der Güsse von den Original-Gußwürfeln bezüglich Porosität, Korngröße, Karbiden, Dendriten und Oberflächen dann erzielt werden, wenn man mit einer neutralen Flamme (Verhältnis Azetylen : O₂ = 5 lb./sq.in. : 25 lb./sq.in. entsprechend 0,35 kg/cm² : 1,75 kg/cm²)

und einem Brennerabstand von ca. 10 cm arbeitet. Eine sauerstoffreiche Flamme führt zu Kohlenstoffverlust und damit zu einer Härteeinbuße, während eine Anreicherung mit Kohlenstoff, die man entweder durch Überhitzen und langes Flüssighalten des Schmelzgutes oder durch eine azetylenreiche Flamme erhält, spröde und brüchige Güsse zur Folge hat (12).

Allgemein wird für das Erschmelzen mit Azetylen-O₂ die Verwendung eines Brausekopfbrenners vorgeschrieben. Die richtige Flammeneinstellung ist eine Rauschflamme mit etwa 1/2 cm großen blaugelben Kernen (27). In seiner Arbeit über das Wiedervergießen von Co-Cr-Legierungen unter Verwendung eines Azetylen-O₂-Brenners stellte HARCOURT (17) fest, daß Zugfestigkeit und Streckgrenze abnehmen, wenn dieselben Proben allzu häufig wieder vergossen werden und darüber hinaus, daß die schon anfänglichen Unterschiede der Karbidformen mit steigender Gußzahl größer werden und der Gehalt an Silizium und Mangan rapide abnimmt.

2.3.3. Untersuchungsergebnisse bei Induktionsguß.

Bei temperaturkontrollierten Hochfrequenz-Induktionsgüssen zeigten CARTER und KIDD (7; 8), daß niedrigere Guß- und Muffeltemperaturen zwar eine größere Kontraktion bewirken als erhöhte, aber zu glatterer Oberfläche und Feinkörnigkeit, sowie zu einem vorteilhaften Anstieg der Zugfestigkeit führen. ASGAR und PEYTON (4; 5) stellten fest, daß höhere Gußtemperaturen eine schlechte Oberfläche, aber durch Ausbildung einer bestimmten Struktur größere Werte für die Dehnung erbringen. HARCOURT (19) wiederholte seine Arbeit über das Wiedervergießen von Co-Cr-Legierungen, jedoch unter Anwendung der Hochfrequenz-Induktion als Schmelzmethode und kam zu dem Schluß, daß

metallurgisch allenfalls ein kleiner Gewinn gegenüber dem herkömmlichen Azetylen- O_2 -Verfahren resultiert, daß aber etwas bessere Ergebnisse erzielt werden können, wenn während des induktiven Schmelzens reduzierende oder inerte Gase in den Schmelztiegel geleitet werden. HARCOURT's Werte für Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung lagen nach dem 12.Induktionsguß etwas höher als beim 1.Guß (19), während nach dem 9.Guß mit Azetylen- O_2 nur die Dehnung gestiegen war bei geringem Absinken von Zugfestigkeit und Streckgrenze (17).

2.4. Temperaturbehandlung.

2.4.1. Abkühlung.

EBERSBACH, GEHRE und LECKERT (12) untersuchten Härte, Zugfestigkeit und Struktur von drei Co-Cr-Legierungen teils nach Abschrecken bei $700-800^{\circ}C$, teils nach einstündiger Abkühlung. Ein auffälliger Unterschied zwischen den beiden Behandlungen war nicht zu erkennen. Aus dem mitgeschriebenen Temperatur-Zeitdiagramm ist allerdings ersichtlich, daß von Abschrecken im eigentlichen Sinne nicht gesprochen werden kann, da infolge der isolierenden Wirkung der Einbettmasse sich die Abkühlung vom Zeitpunkt des Eintauchens in das Wasser noch 2 bis 3 Minuten hinzieht. In einer differenzierteren Untersuchung stellte HARCOURT (18) fest, daß nach Abschrecken die Zugfestigkeit abnimmt und die Dehnung ansteigt, während nach langsamem Abkühlen (24 Stunden im Ofen) bei höherer Zugfestigkeit eine geringere Dehnung resultiert. In allen Fällen ist die Korngröße gleich.

2.4.2. Wärmebehandlung.

ELBERT und RYGE (13) führten Härtemessungen an Prüfkörpern aus Ticonium, einer Co-Cr-Ni-Legierung, durch,

nachdem sie diese verschiedenen Wärmebehandlungen unterzogen hatten. Sie stellten fest, daß die Werte nach einer Wärmebehandlung von einer halben Stunde bei 700°C steigen. Wenn dieser Härteanstieg auch statistisch signifikant ist, so ist er doch nicht groß genug, um von entscheidender Bedeutung für die Klinik zu sein. Dagegen fand HARCOURT (18) nach verschiedenen Wärmebehandlungen ein auffallendes Ansteigen der Zugfestigkeit und Streckgrenze, allerdings verbunden mit einem Abfall der Dehnung.

2.5. Kritik.

Es ist darauf hinzuweisen, daß die Ergebnisse von ELBERT und RYGE (13) nicht ohne weiteres auf die Co-Cr-Legierungen übertragbar sind, welche der unter 2.2.1. aufgeführten Zusammensetzung entsprechen, da sich ihre Untersuchungen auf eine Legierung (Ticonium) beziehen, die 20% Nickel bei entsprechender Verminderung des Kobaltanteils enthält. Nach ELBRECHT (14) führt nämlich der zugunsten des Nickels reduzierte Co-Anteil zum Ausbleiben der spontanen Härtung der Legierung durch die Co-Umwandlung (vergl. 2.2.1). Zwar wird bei den Legierungen mit hohem Nickel-Anteil eine Ausscheidungshärtung durch entsprechenden Gefügeumbau im Temperaturbereich von 600 bis 700°C beobachtet (12; 14), aber spezielle Vergleiche zwischen Co-Cr- und Co-Cr-Ni-Legierungen liegen nicht vor. Im übrigen sind Co-Cr-Ni-Legierungen hier nicht Gegenstand der Betrachtung.

Die von ASGAR und PEYTON (4; 5), CARTER und KIDD (7; 8) sowie die von HARCOURT (17; 19) verarbeiteten Legierungen enthalten nur einen geringen Nickel-Anteil (0,3 bis 2,5% Ni), so daß Vergleiche zwischen diesen

und unseren nickelfreien Legierungen möglich erscheinen. Für unzulässig wird jedoch erachtet, Ergebnisse dieser Autoren direkt auf unsere Legierungen zu übertragen. Keiner der zitierten Verfasser der Einzeldarstellungen bringt eine vollständige Übersicht über die Eigenschaften der von ihm verarbeiteten Legierungen. Insbesondere fehlen Angaben über die Schmelzpunkte, weshalb empfohlene Gußtemperaturen sowie Temperaturangaben bei Wärmebehandlungen auf unsere Legierungen nicht direkt anwendbar sind.

Als Mangel wird empfunden, daß bisher keine objektive Beurteilung der Mikrostruktur möglich ist. Es gibt zwar neuerdings elektronische Geräte, welche die Gefügebilder vollautomatisch auswerten können; aber beim heutigen Entwicklungsstand sind diese Apparate zu kostspielig, als daß sie allgemein bei der Beurteilung von Metallschliffen Verwendung finden könnten. Es wäre daher zweckmäßig, wenn man für Co-Cr-Legierungen ein Schema im Sinne der Gefügerichtreihen nach DIERGARTEN (9) hätte; denn die Möglichkeit, die Mikrostruktur nach solchen Richtreihen charakterisieren zu können, würde dem subjektiven Beschreiben der Autoren ein Ende bereiten und damit sinnvolle Vergleiche zwischen den Darstellungen gestatten.

Nicht geklärt ist bisher unter anderem die Frage, wie sich wiederholtes Vergießen auf die Härte von Co-Cr-Legierungen auswirkt. Es wurde auch noch nicht untersucht, ob sich durch das Gießen mit Induktions-Gußmaschinen unterschiedliche Eigenschaften der Gußobjekte dann ergeben, wenn einerseits pyrometrisch-temperaturkontrolliert, andererseits ohne Hilfsmittel nur unter Sichtkontrolle erschmolzen wird.

3. METHODE DER EIGENEN UNTERSUCHUNG.

3.1. Die ausgewählten Legierungen und Gußverfahren.

In der vorliegenden Untersuchung wurden zwei handelsübliche Co-Cr-Legierungen verarbeitet, und zwar:

Material 1: Wironit (siehe 4.1)

Material 2: Vitallium (siehe 4.1)

Drei in den technischen Laboratorien gebräuchliche Gußverfahren fanden Anwendung, und zwar:

Verfahren 1: Das Erschmelzen mit dem
Azetylen-Sauerstoffbrenner
(siehe 4.5.1)

Verfahren 2: Das temperaturkontrollierte
Erschmelzen mit der Austenal-
Gußmaschine (siehe 4.5.2)

Verfahren 3: Das Erschmelzen mit der SAED-
Gußmaschine (siehe 4.5.3)

Gekürzt werden diese Verfahren hier als Azetylen-O₂-, Austenal- und SAED-Verfahren bezeichnet.

3.2. Gußschema und Messungen.

Um entsprechend der Aufgabenstellung feststellen zu können, wie sich die Härte von zwei Co-Cr-Legierungen bei wiederholtem Verguß und unter Verwendung dreier verschiedener Gußverfahren verhält, und um Vergleiche ziehen zu können, ist eine genügend große Zahl von Meßergebnissen erforderlich. Um diese Forderung zu erfüllen, wurden nach jedem der drei Verfahren aus beiden Materialien jeweils 5 Proben gegossen. Somit ergaben sich für jedes Gußverfahren 2 Serien von je 5 Prüfkörpern, und zwar eine aus Wironit und eine aus Vitallium, also insgesamt 6 Serien mit zusammen 30 Proben. An jedem dieser Prüfkörper wurden 5 Härtemessungen durchgeführt. Anschließend wurden sämtliche Proben erneut vergossen,

und nach dem Guß erfolgten die nächsten Härtemessungen in der beschriebenen Weise. Insgesamt wurde jede Probe 10 mal vergossen und ebensooft ihre Härte bestimmt. Für die Auswertung lagen somit 300 Einzelgüsse mit zusammen 1500 Meßwerten vor. Durch die Indices "Verfahren (1-3)", "Material (1,2)" und "Guß (1-10)" können die Positionen der einzelnen Proben im gesamten Gußschema definiert werden.

3.3. Proben für die Schliffbilder und Analysen.

Abweichend von diesem Schema wurden beim 1.Guß für jede Serie nicht 5 sondern 6 Proben gegossen. Diese überzähligen Prüfkörper waren für die Schliffbilder und die chemischen Analysen (siehe 6.2; 6.3) des 1.Gusses bestimmt. Für die Schliffbilder und Analysen des 10.Gusses wurde den einzelnen Serien nach der Härtemessung je eine Probe entnommen. Zur Verdeutlichung ist das Gußschema in Tab.1 dargestellt (Seite 17).

Guß	Verfahren 1 (Azetylen - O ₂)		Verfahren 2 (Austenal)		Verfahren 3 (SAED)	
	M 1	M 2	M 1	M 2	M 1	M 2
	Probe 1 2 3 4 5 6	Probe 1 2 3 4 5 6	Probe 1 2 3 4 5 6	Probe 1 2 3 4 5 6	Probe 1 2 3 4 5 6	Probe 1 2 3 4 5 6
1	o o o o o o	o o o o o o	o o o o o o	o o o o o o	o o o o o o	o o o o o o
2	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o
3	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o
4	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o
5	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o
6	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o
7	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o
8	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o
9	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o	o o o o o
10	o x o o o	x o o o o	x o o o o	o x o o o	o x o o o	o o o o x

M 1 = Wironit

M 2 = Vitalium

x = für Schliffbild u. Analyse

Tabelle 1 : Gußschema

4. DIE VERARBEITETEN MATERIALIEN UND DIE HERSTELLUNG DER PRÜFKÖRPER.

Es sei darauf hingewiesen, daß bei der Verarbeitung der einzelnen Materialien den Vorschriften der jeweiligen Hersteller entsprochen wurde und die Erkenntnisse des einleitenden Kapitels (2.), soweit dies möglich war, sinngemäß Anwendung fanden.

4.1. Die Legierungen.

Für die vorliegende Untersuchung wurden die Legierungen Wironit G und Vitallium gewählt, da sie weit verbreitet sind. Wironit G wird von der Bremer Goldschlägerei Wilh. Herbst, Bremen, vertrieben, Vitallium von der amerikanischen Firma Howmet International, Inc. (Austenal Dental Products, Zw. Ndlsgg Köln). Die beiden Legierungen unterscheiden sich in Zusammensetzung und Eigenschaften nur geringfügig. Bemerkenswert erscheinen lediglich die Differenzen bei Härte und Dehnung.

Da anderweitig keine detaillierten Darstellungen von Wironit und Vitallium erhältlich waren, wurde auf die von ELBRECHT (14) veröffentlichte Übersicht zurückgegriffen; als Auszug sind in Tab. 2 die Komponenten und in Tab. 3 die Eigenschaften der beiden Legierungen ersichtlich.

Legierung	C	Fe	Cr	Co	Mo	Si	Mn	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%
Wironit G	0,4	1,1	27,7	64,4	5,1	0,7	0,3	0,3
Vitallium	0,4	0,7	30,8	62,5	5,1	0,3	0,5	-

Tab. 2: Zusammensetzung der Legierungen.

Legierung	Schmelz- punkt °C	Streck- grenze (kg/mm ²)	Zugfe- stigm. (kg/mm ²)	Brinell- härte (kg/mm ²)	Deh- nung %	Spez. Gew. (g/cm ³)
Wironit G	1370	--	90	330	5	8,0-8,4
Vitallium	1426	63	89	365	10	

Tab.3: Eigenschaften der Legierungen.

4.2. Prüfkörperform und Modelle.

4.2.1. Bestimmung der Prüfkörperform.

Bei der Wahl der Prüfkörperform erschien es angebracht, die Modelle so zu dimensionieren, daß sie in einer sinnvollen Relation zu den Gußobjekten stehen, die im Munde Verwendung finden. Während die DIN-Vorschriften keinen Prüfkörper für die Untersuchung von dentalen Co-Cr-Legierungen enthalten, wird von den USA (2) und England (British Standard 3366, 1961, nach HARCOURT, 17) ein "specimen" speziell für diesen Zweck angegeben. Es handelt sich um einen Rundstab von ca. 2,25 mm Durchmesser und ca. 35 mm Länge mit verdickten Köpfen an beiden Enden. Dieser Prüfkörper ist primär für Zugversuche gedacht, eignet sich aber auch für Härtemessungen. Da hier aber nur die Härte bestimmt werden soll, erschien es zu aufwendig, auf diese Prüfkörperform zurückzugreifen. So wurden kleine quadratische Plättchen von 10 mm Kantenlänge und 2 mm Höhe als geeignet erachtet und als Prüfkörperform gewählt.

4.2.2. Herstellung der Modelle.

Um entsprechende Modelle zu erhalten, wurden aus Acrylglasplatten vom 2 mm Stärke Plättchen mit je 10 mm Kantenlänge geschnitten. Solche Modelle haben im Vergleich zu Wachsmodeilen planere Flächen und schärfere Kanten, sie können sich nicht verziehen und sind leicht herzustellen. Bei Temperaturen zwischen 350 und 400°C

fließt das Acrylglas aus den Muffeln aus und verbrennt bei den hohen Vorwärmtemperaturen rückstandslos.

4.3. Einbettung.

Zur Einbettung wurde an die Modellplättchen in Verlängerung ihrer Diagonalen ein eisernes Rundstäbchen von 2 mm Durchmesser und 25 mm Länge als Gußstift angewachst. Dieses Stäbchen wurde anschließend so in den Kegel eines Degussa-Einbettungssocklers eingelassen, daß es noch 13 mm aus der Kegelspitze herausragte. Aus entsprechend geschnittenen Pappstreifen wurden Muffelringe vom Format der Degussamuffel Größe 1 (Höhe 55 mm; Durchmesser 30 mm) geformt und in der innersten Rille des Socklers mit Wachs fixiert. Diese Anordnung ist in Abb. 1 ersichtlich.

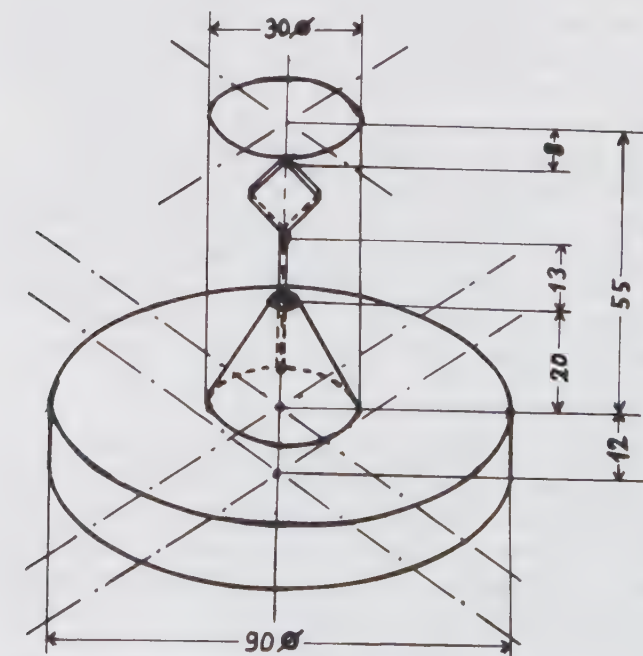


Abb. 1 Anordnung zum Einbetten
(Maße in mm).

Ihr Vorzug ist, daß das Modellplättchen in die günstigste Wärmezone zu liegen kommt, wobei man gleichzeitig für die Durchlässigkeit der Gase beim Guß eine geeignete Schichtdicke von 8 mm am Muffelende erhält.

Eingebettet wurde mit Wirovest C, welches von der Bremer Goldschlägerei Wilh. Herbst hergestellt und vertrieben wird. Es handelt sich um eine phosphatgebundene Einbettmasse, die bei Vorwärmtemperaturen zwischen 650 und 950°C ihre größte Expansion von ca. 1,7% erreicht. Das Mischungsverhältnis Wasser zu Masse beträgt nach Angaben der Hersteller 1:6; für jeweils 5 Muffeln wurden 50 cm³ Aqua dest. mit 300 g Wirovest angemischt und mit der Vac-u-Vestor Combination von WHIP-MIX 90 Sekunden lang im Vakuum durchgerührt. Sodann erfolgte das Eingießen der Masse in 5 entsprechend der Abb. 1 vorbereitete Muffelringe bei Atmosphärendruck auf einem Vibrator, der nach dem Einfüllen noch ca. 30 Sekunden nachrüttelte. Nach einer Abbindezeit von 30 Minuten wurden die Muffeln von den Sockeln abgezogen und gekennzeichnet; die Gußstifte und Pappmanschetten wurden entfernt.

4.4. Vorwärmen.

Bei der Bestimmung der Vorwärmtemperatur der Muffeln ist zu berücksichtigen, daß nach CARTER und KIDD (7; 8) niedrige Temperaturen zu einer Verfeinerung des Gefüges und zum Anstieg der Zugfestigkeit bei guter Oberflächenbeschaffenheit führen (vergl. 2.3.3), während in der Praxis höhere Temperaturen erforderlich sind, damit die Schmelze nicht vorschnell erkaltet und auch die feineren Modellierungen noch ausfließen können. Die Gefahr, daß bei niedrigen Muffeltemperaturen die Gußobjekte wegen der fehlenden oder zu geringen thermischen

Expansion der Einbettmasse zu klein werden, ist bei Verwendung von Wirovest C nicht gegeben, da diese Masse bereits bei 650°C ihre maximale Expansion erreicht. Das vollständige Ausfließen der Muffeln und die Vermeidung von Lunkern ist, abgesehen von der Vorwärmtemperatur, auch von der Leistung der Schleuder abhängig. Da Schleudern mit Motorantrieb höhere Beschleunigungen und Umfangsgeschwindigkeiten haben als federgespannte, erzielt man mit ihnen auch bei niedrigeren Muffeltemperaturen vollständig ausgeflossene Güsse.

KUNTER (21) zeigte, daß selbst bei fehlerhafter Anlage der Gußkanäle mit der Motorschleuder lunkerfreie Güsse erzielt werden können, während bei gleicher Gußkanalführung die Verwendung einer federgespannten Schleuder zu Mißerfolgen führt. Nach der Untersuchung von FUCHS (15) ist das Erzielen lunkerfreier Güsse ganz besonders von dem initialen Beschleunigungsvermögen der Schleuder abhängig, weniger von der entwickelten Zentrifugalkraft.

Diesen Überlegungen und den Empfehlungen der Hersteller von Wirovest folgend wurden die Muffeln 45 Minuten nach dem Einbetten in einen kalten elektrischen Vorwärmofen eingebracht. Für das Gießen nach Verfahren 1 mit einer federgespannten Schleuder wurde innerhalb von 75 Minuten auf 1000°C hochgeheizt, und nach einer Einwirkzeit dieser Temperatur von 15 Minuten erfolgte der Guß. Da bei Verfahren 2 und 3 mit Motor-kraft geschleudert wurde, wurde innerhalb von 75 Minuten auf nur 850°C hochgeheizt, und nach einer Einwirkzeit dieser Temperatur von 15 Minuten wurde gegossen. Den zitierten Untersuchungen zufolge (7; 8) könnte diese Differenz der Vorwärmtemperaturen keinen Einfluß auf die Qualität der Güsse haben.

4.5. Gießen.

Bei allen drei Gußverfahren wurden beim 1.Guß für die Wironit-Proben je 4 Original-Gußwürfel Wironit (ca.20 g) und für die Vitallium-Proben jeweils 5 Original-Gußwürfel Vitallium (ca.20 g) erschmolzen. Bei Guß 2 bis Guß 10 wurden die Prüfkörper zusammen mit den zugehörigen Gußkegeln vergossen. Das Erschmelzen erfolgte stets ohne Zugabe von Schmelzpulver. Bei allen Verfahren wurde abgegossen, bevor die Oxidschicht einriß, die die Schmelze umgab. Nach dem Guß wurden die Muffeln zugluftgeschützt zum Erkalten abgestellt, da weder Abschrecken noch extrem langsames Abkühlen im Ofen (vergl. 2.4.1) echte Vorteile haben. Nach ca.30 Minuten waren die Muffeln handwarm, und nach frühestens 45 Minuten erfolgte das Ausbetten.

4.5.1. Verfahren 1: Azetylen-Sauerstoff.

Verfahren 1 stellt das herkömmliche Gießen von Co-Cr-Legierungen mit offener Flamme und federgespannter Schleuder dar. Das Erschmelzen mit Azetylen- O_2 erfolgte entsprechend den von HARCOURT (16) veröffentlichten Richtlinien (vergl. 2.3.2). Bei einem Azetylendruck von $0,4 \text{ kg/cm}^2$ und einem Sauerstoffdruck von $2,0 \text{ kg/cm}^2$ wurde eine neutrale Flamme erzeugt. Ein D r a e g e r - Brausekopfbrenner fand Verwendung, und die Flamme wurde den Hinweisen WEIKART's (27) entsprechend eingestellt (vergl. 2.3.2). Das Gießen selbst erfolgte mit der federgespannten D e g u s s a - Tiegelschleuder. Wenn die Gußwürfel bzw. Prüfkörper und Gußkegel zusammengeschmolzen waren und die Schmelze durch den Flammendruck eingedellt werden konnte, wurde unverzüglich geschleudert.

4.5.2. Verfahren 2: Austenal.

Als 2. Verfahren wurde unter Kontrolle der Gußtemperatur induktiv durch Hochfrequenzströme erschmolzen und mit Motorkraft geschleudert. Dieses Verfahren setzt verglichen mit den anderen Gußverfahren die aufwendigsten technischen Einrichtungen voraus, erfordert aber nach richtiger Einstellung der Apparatur weder besondere Kenntnisse noch Erfahrungen des Gießenden. Ein entsprechendes Gerät stellt die von Howmet International, Inc., USA, hergestellte und vertriebene vollautomatische Austenal-Gußmaschine dar, mit der hier gegossen wurde. Nach Angaben der Hersteller wird mit dieser Maschine das Schmelzgut im Gußtiegel durch Hochfrequenz-Induktionsströme geschmolzen, indem sich das magnetische Feld in der wassergekühlten Induktions-Schmelzspirale (Arbeitsspule), die den Gußtiegel umgibt, stets schnell ändert (vergl. auch 2.3.1). Der Hochfrequenzstrom, der durch die Induktionsspirale fließt, wird durch ein eingebautes Meßinstrument angezeigt. Der Temperaturkontrolle dient ein optisches Pyrometer, welches Helligkeit und Infrarotstrahlen abliest und in Abhängigkeit von der einfallenden Strahlung einen Strom erzeugt. Dieser Strom fließt in das Temperatur-Meßinstrument, und sobald die auf der Temperaturskala gewählte Gußtemperatur erreicht ist, wird diese beibehalten, und nach einer Verzögerung von 3 Sekunden wird die von einem Elektromotor angetriebene Schleuder automatisch ausgelöst. Nach einer Motorlaufzeit von 10 Sekunden läßt man sie frei auslaufen.^{x)}

^{x)} Ich bedanke mich bei der Fa. W i l h. K i m m e l KG, Zahntechnisches Labor in Mainz, für die Durchführung der Güsse nach diesem Verfahren.

Für alle Güsse nach diesem Verfahren wurde eine Gußtemperatur von 2810°F (entsprechend 1543°C) eingestellt. Diese Temperatur wurde gewählt, weil sie für das Gießen von Vitallium laborüblich ist. Da der Schmelzpunkt von Wironit um 56°C niedriger angegeben wird als der von Vitallium, könnte es zweckmäßig erscheinen, die Wironit-Proben mit einer niedrigeren Temperatur zu gießen; denn nach ASGAR und PEYTON (4; 5) sowie CARTER und KIDD (7; 8) resultieren unterschiedliche Eigenschaften der Güsse abhängig davon, wie hoch die Gußtemperatur über dem Schmelzpunkt liegt. Diesen Untersuchungen zufolge dürften jedoch die verschiedenen Differenzen zwischen Schmelzpunkt und Gußtemperatur bei Wironit und Vitallium, die sich aus der auf 1543°C festgelegten Gußtemperatur ergeben, keinen wesentlichen Einfluß auf die Eigenschaften nehmen, da dieser Unterschied hier zu gering ist. Um im übrigen identische Bedingungen für beide Materialien zu haben, galt die gewählte Gußtemperatur für alle Güsse nach diesem Verfahren.

4.5.3. Verfahren 3: SAED.

Das dritte Verfahren besteht wie Verfahren 2 in induktivem Erschmelzen und Gießen mit einer Motorschleuder, jedoch ohne Kontrolle der Gußtemperatur durch eine entsprechende Einrichtung. Wie bei Verfahren 1 bestimmt hier der Gießende den Zeitpunkt des Schleuderns.

Die von der Firma SAED, Italien, hergestellte Gußmaschine arbeitet nach diesem Verfahren und wurde hier verwandt. Mit Ausnahme der Meßeinrichtungen entspricht ihre Konstruktion und Funktion der Austenal-Gußmaschine.

Nach Einbringen von Metall und Muffel in die SAED-Gußmaschine wurde das Erwärmen der Gußwürfel bzw. Prüfkörper und Gußkegel durch Blauglas beobachtet. Nach ca. 35 Sekunden lagerten sich die einzelnen Metallstücke unter Bildung einer gemeinsamen Oxydschicht zusammen, und im Verlauf von wenigen weiteren Sekunden wurde die Schmelze ausgehend von der Peripherie zunehmend transparent. Sobald die Schmelze so transparent war, daß die bis dahin noch sichtbaren Umrisse der einzelnen Metallstücke verschwanden, wurde unverzüglich geschleudert. Die Schleuder lief 10 Sekunden mit Motorantrieb und anschließend frei aus.

4.6. Nachbehandlung der Proben.

Nach dem Ausbetten wurden die Güsse sandgestrahlt und die Prüfkörper an einem Schnellschleifer mit Nylonscheiben von den Gußstiften getrennt. Es stellte sich nun heraus, daß die unbearbeiteten Oberflächen der Proben für die Rockwell-Härteprüfung noch zu rauh waren. Daher wurden sie auf einem Flächenschleifer je zweimal nach Drehung um 90° auf jeder Seite mit Schmirgelpapier, erst 80 D, dann 150 C, überschliffen. Die Prüfkörper wurden mit der Fingerbeere gegen die rotierende Schleifscheibe gedrückt und der Druck so dosiert, daß die entstehende Wärme ganz gering war, um Veränderungen in der Oberflächenstruktur mit daraus resultierendem Anstieg der Härte zu verhindern.

4.7. Herstellung der Schliffbilder und chemische Analyse.

Die Proben für die Schliffbilder und Analysen wurden zunächst wie die Prüfkörper für die Härtmessung vorbehandelt. Nach der Härtmessung wurde jeder Serie beim ersten und zehnten Guß eine Probe entnommen, deren Härte dem Durchschnittswert der Serie ent-

sprach. Diese insgesamt 12 Proben wurden in runde Scheiben von ca. 25 mm Durchmesser und ca. 10 mm Höhe in Technovit eingebettet, einen schnell härtenden Kunststoff, der von der Firma Kulzer & Co hergestellt wird. Die eingebetteten Proben wurden nun auf dem Flächenschleifer mit immer feinerem Schmirgelpapier bis zur Körnung 400 naß geschliffen und anschließend auf einer Filzscheibe mit Ton-erdesuspension vorpoliert. Vor dem Ätzen erfolgte die Hochglanzpolitur mit einer Diamantpolierpaste. Als Ätzmittel wurde Murakami-Lösung verwendet. Die geätzten Metallschliffe wurden in 100- und 500-facher Vergrößerung fotografiert. Die in den Schliffproben aufgetretenen Phasen wurden mittels Mikrosonde bestimmt. Ergänzend wurde der Reinheitsgrad der Güsse nach DIERGARTEN (9,S.13) entsprechend den Richtreihen 1.02.0 und 1.07.0 ermittelt.

Um genügend Material für die chemische Analyse zu haben, wurden neben den Schliffbilderproben die dazugehörenden Gußkegel verarbeitet. Jeweils beim ersten und zehnten Guß wurden die Anteile an C, Si, Mn, Cr, Mo und Fe gemessen, sowie der Gehalt an den Gasen Stickstoff und Sauerstoff bestimmt. Die Schliffbilder und chemischen Analysen wurden von den Deutschen Edelstahlwerken AG hergestellt.^{x)}

x) Mein besonderer Dank gilt den Herren
Weinmann und Schmidt von den
Deutschen Edelstahlwerken AG, Werk Bochum.

5. HÄRTEMESSUNG.

5.1. Messverfahren.

Unter den verschiedenen gebräuchlichen Härtemessverfahren wurde die Rockwell C-Härteprüfung ausgewählt, weil sie sich besonders für härtere Werkstoffe eignet, nur geringe Bearbeitung der Proben erfordert, kleine Eindrücke hinterläßt und die Härtezahlen bei den meisten Prüfgeräten an der Meßuhr direkt abgelesen werden können. Während man beim Brinell- und Vickers-Verfahren als Meßzahl die spezifische Prüflast bezogen auf die Oberfläche des Eindruckes verwendet (kg/mm^2), wird bei der Rockwell-Prüfung die Eindringtiefe als Maßzahl herangezogen, die somit die Dimension einer Länge hat. "Diese Tiefe (e) wird als Differenz der Eindringtiefe des Prüfkörpers bei einer Vorlast und einer Hauptlast gemessen" (6,S.195) und aus ihr nach

$$\text{HRC} = 100 - e$$

die Rockwellhärte abgeleitet (10) und in ganzen Zahlen angegeben. Eine Rockwell C-Härteeinheit (HRC) entspricht einer Eindringtiefe von 0,002 mm. Zwischen Brinell- und Vickers-Härte einerseits und Rockwell-Härte andererseits besteht wegen ihrer verschiedenen Dimensionen kein funktionaler Zusammenhang. In grober Annäherung kann jedoch im Bereich von 200 bis 400 HB (Härte Brinell) gelten, daß

$$\text{HRC} \sim 1/10 \text{ HB}$$

ist.

Nach DIN 50 103 (10) ist bei der Rockwell C-Prüfung der Eindringkörper ein Diamantkegel mit 120° Spitzwinkel und kugeliger Spitze mit 0,02 mm Radius. Die Vorlast $P_0 = 10 \text{ kg}$ und die Zusatzlast $P_1 = 140 \text{ kg}$ ergeben eine Gesamtlast von

$$P = P_0 + P_1 = 150 \text{ kg}.$$

Die Eindringzeit der Zusatzlast soll 3 bis 6 Sekunden betragen. Für das Rockwell C-Verfahren wird eine Meßunsicherheit von 2 Rockwellgraden angegeben.

5.2. Prüfgerät und Durchführung der Messungen.

Als Prüfmaschine wurde der Welltest-Härteprüfer Nr. 500 (Hersteller Fa. Frank, Mannheim) verwandt, der sowohl für das Brinell- und Vickers-Verfahren als auch besonders für die Rockwell C-Prüfung nach DIN 50 103 (10) geeignet ist. Dieses Gerät ist mit einer Hydraulikbremse ausgerüstet, die die Belastung des Eindringkörpers mit der Zusatzlast in 6 Sekunden stoßfrei ermöglicht.

Zur Messung wurden die Proben mit der Spindel des Gerätes gegen den Diamanten bis zum Erreichen der Vorlast geführt, was aus der Anzeige der Meßuhr ersichtlich war. Dann erfolgte die Belastung mit der Zusatzlast, die wieder entfernt wurde, sobald der Zeiger der Meßuhr zur Ruhe gekommen war. Nachdem die Zusatzlast weggenommen war, wanderte der Zeiger in seine endgültige Stellung, und die Rockwell-Härte konnte nun von der Meßuhr unmittelbar abgelesen werden. Die Skala ist in ganze Zahlen eingeteilt, und bei Zwischenstellungen des Zeigers wurde der jeweils nächstliegende Wert abgelesen.

An jeder Probe wurden 5 Messungen vorgenommen. Die Meßeindrücke lagen jeweils parallel zu den gußstiftfernen Kanten der Prüfkörper, um Veränderungen der Eigenschaften, die durch das Abtrennen des Stiftes entstanden sein könnten, weitgehendst im Meßergebnis auszuschließen.

Die Härtemesswerte sind nach den Gußverfahren und Materialien geordnet in den Tabellen 4 bis 69 (Anhang, S.74-91) angegeben, wobei sich jeweils an den 10. Guß die errechneten Härtemittelwerte aus den 5 Meßwerten für die ganze Serie anschließen. Abweichend von der Vorschrift, daß die Rockwellhärte in ganzen Zahlen anzugeben ist, wurden aus Gründen der Statistik bei den errechneten Mittelwerten die anfallenden Dezimalstellen mit angegeben.

6. ERGEBNISSE

6.1. Statistische Auswertung der erhaltenen Meßwerte.

6.1.1. Beschreibung der angewandten Verfahren.

Es war Ziel der statistischen Auswertung, die aus den Härtemessungen errechneten Mittelwerte im Zusammenhang mit den gefundenen Streuungen zu untersuchen und auf dem Wege der Prüfung statistischer Hypothesen zu Sachaussagen zu kommen. Das Vorgehen war dabei so, daß die Meßergebnisse zunächst einer mehrfachen Varianzanalyse unterzogen wurden. Daran schloß sich die Berechnung von Konfidenzintervallen für die benötigten Mittelwertkontraste nach dem Tukey- und Scheffé-Verfahren an. Es handelte sich um sog. partiell-hierarchische Modelle der Varianzanalyse. Die Ermittlung der korrekten F-Tests wurde nach der von DUDECK (11) angegebenen Regel durchgeführt.

Bezüglich der Einzelheiten der benutzten statistischen Verfahren sei auf die Fachliteratur verwiesen (WEBER, 26). Hier sollen nur einige Anmerkungen gemacht werden, die das Verständnis der Ergebnistabellen erleichtern.

Die Varianzanalyse eliminiert aus der Gesamtstreuung der Meßergebnisse die Streuungen einzelner Einflußgrößen (Faktoren) sowie deren gegenseitige Beeinflussung (Wechselwirkung) und beurteilt diese unabhängig voneinander. In der 1. Spalte der Varianzanalysetabelle (Tab. 70) werden diese Faktoren und Wechselwirkungen aufgeführt. Die 2. Spalte (Summe der Abweichungsquadrat = SAQ) enthält die entsprechenden Anteile an der Gesamtstreuung. Die Division der SAQ

durch die sog. Freiheitsgrade (FG, 3. Spalte) führt zu den mittleren Abweichungsquadraten (MAQ, Spalte 4), die das eigentliche Streuungsmaß darstellen. Im F-Test (Spalte 5 u. 6) wird geprüft, ob dieser Streuungsanteil wesentlich größer ist als nach der Versuchsstreuung zu erwarten wäre. Die Beurteilung der errechneten F-Werte erfolgt nach Festsetzung einer geeigneten Irrtumswahrscheinlichkeit p durch Vergleich mit den tabulierten Werten der F-Verteilung. Ist der berechnete Wert größer als der Tabellen-F-Wert für $p = 0,01$, so spricht man von einem signifikanten Ergebnis.

Die Annahme, daß zwischen den einzelnen Stufen eines Faktors oder einer Wechselwirkung keine wesentlichen Unterschiede bestehen (sog. O-Hypothese), kann dann nicht aufrecht erhalten werden. Wird jedoch nur der kleinere Tabellenwert für $p = 0,05$ überschritten, so spricht man von einem statistisch auffälligen Ergebnis. Hat der F-Test ergeben, daß zwischen bestimmten Mittelwerten (den Stufen eines Faktors oder einer Wechselwirkung) signifikante Unterschiede bestehen, so gilt diese Aussage zusammenfassend für alle diese Mittelwerte. Es kann nicht ohne weiteres gefolgert werden, daß zwei bestimmte Mittelwerte sich unterscheiden. Sollten bestimmte Mittelwertsdifferenzen oder auch kompliziertere Mittelwertskontraste beurteilt werden, so kann das mit Hilfe von Konfidenzintervallen geschehen. Die hier benutzten von Tukey angegebenen Konfidenzintervalle haben die Form:

$$\hat{L} - \sqrt{\frac{\text{MAQ}_N}{r}} q_{1-p/k/f} \leq L \leq \hat{L} + \sqrt{\frac{\text{MAQ}_N}{r}} q_{1-p/k/f}$$

- $\hat{L}$ ist der zu beurteilende Mittelwertskontrast der Stichprobe,
 L ist der entsprechende Kontrast der Grundgesamtheit,
 $\frac{MAQ_N}{r}$ ist Varianz des Kontrastes,
 MAQ_N ist das aus der Varianzanalysentabelle entnommene MAQ für den Nenner im F-Test,
 r ist die Anzahl der jedem Mittelwert zugrundeliegenden Einzelmessungen,
 $q_{1-p/k/f}$ ist die obere Signifikanzschranke des studentisierten Extrembereichs,
 $1-p$ Sicherheitswahrscheinlichkeit,
 k Anzahl der Mittelwerte,
 f Anzahl der Freiheitsgrade von MAQ_N .

Beim Scheffé-Verfahren haben die Konfidenzintervalle folgendes Aussehen:

$$\hat{L} - S \cdot \sqrt{\frac{MAQ_N}{r} \cdot \sum_{i=1}^K c_i^2} \leq L \leq \hat{L} + S \cdot \sqrt{\frac{MAQ_N}{r} \cdot \sum_{i=1}^K c_i^2}$$

$S^2 = (k-1)F_{1-\alpha/k-1/f}$, wobei F in der tabulierten F -Verteilung aufgesucht wird.
 c_i Koeffizienten der Mittelwertskontraste.

Für einfache Mittelwertsvergleiche, wie sie in den Abbildungen dargestellt sind, wurden Konfidenzintervalle nach Tukey berechnet. Für die komplizierteren Mittelwertskontraste (Abb. 7, 9, 14 und 8) wurde das Scheffé-Verfahren angewandt.

Eine Mittelwertsdifferenz $\hat{L}$ ist beim Tukey-Verfahren dann signifikant von 0 verschieden, wenn sie größer ist als der Ausdruck $\sqrt{\frac{MAQ_N}{r}} q_{1-p/k/f}$

Beim Scheffé-Verfahren lautet der entsprechende Ausdruck:

$$S \cdot \sqrt{\frac{MAQ_N}{r} \cdot \sum_{i=1}^K c_i^2}$$

6.1.2. Ergebnisse der statistischen Auswertung.

Aus der Varianzanalysentabelle (Tab. 70) ist zu ersehen, daß die Wirkung aller bei den Versuchen variierten Einflußgrößen gesichert ist. So haben die Materialien (Zeile 2), das wiederholte Vergießen (Zeile 3) und die angewandten Gußverfahren (Zeile 4) die Meßwerte deutlich beeinflußt. Die Zeilen 5 bis 9 geben über die verschiedenen Wechselwirkungen der Faktoren Auskunft und zeigen, daß sämtliche Wechselwirkungen signifikant sind. In Zeile 10 wird die nicht mehr weiter aufteilbare Reststreuung angegeben, die man als Versuchsfehler ansehen kann. Es handelt sich hier um die Unterschiede zwischen den Einzelmessungen auf den Prüfkörpern. Interessant ist, daß die Meßapparatur offenbar so genau arbeitet, daß sie noch Unterschiede zwischen gleichbehandelten Prüfkörpern (Zeile 1 und 9) nachweist.

6.1.2.1. Parallelität der Härtekurven.

Innerhalb jedes einzelnen Verfahrens verlaufen die Härtekurven für die beiden Legierungen Wironit und Vitallium parallel. Da dieser Schluß nicht ohne weiteres aus der Betrachtung der Härtekurven (Abb. 3, 4, 5 und 6) gezogen werden kann, wurden die Differenzen zwischen den Härtemittelwerten beider Materialien bei jedem Guß und für jedes Verfahren gebildet (Tab. 71 und 72), nach der Größe geordnet (Tab. 73) und miteinander verglichen (Tab. 74, 75 und 76). Für die in der Vergleichsmatrix der Mittelwertdifferenzen aufgetragenen Werte wurden nach dem Verfahren von Scheffé Konfidenzintervalle berechnet. Die

Konfidenzgrenzen liegen bei $\pm 4,53$ für $p = 0,05$ und $\pm 4,83$ für $p = 0,01$.

Da alle Werte innerhalb des Konfidenzintervalles liegen, kann nicht angenommen werden, daß wesentliche Abweichungen vom parallelen Verlauf der Härtekurven vorkommen. Zur Verdeutlichung dienen die graphischen Darstellungen (Abb. 7, 8 und 9), bei welchen die bei den Güssen 2 bis 10 erhaltenen Kontraste im Vergleich zu dem Wert beim 1. Guß aufgetragen wurden. Der Wert des 1. Gusses wurde gleich Null gesetzt.

6.1.2.2. Verlauf der Härtekurven innerhalb der Gußverfahren.

Da die Annahme eines parallelen Verlaufs der Härtekurven als sinnvoll erscheint, kann man für jedes Gußverfahren eine Mittelwertkurve zwischen den beiden Materialien bilden, was den Vergleich zwischen den Verfahren erleichtert (Abb. 2).

Es entstand für jedes Verfahren eine charakteristische Material-Mittelwertshärtekurve. Die entsprechenden Mittelwerte befinden sich in Tab. 77, nach der Größe geordnet in Tab. 78 und als Vergleichsmatrix der Materialwerte in den Tab. 79, 80 und 81. Zur Beurteilung der Materialmittelwertshärtekurven wurde das Konfidenzintervall nach dem Verfahren von Tukey ermittelt; die Grenzen liegen bei $\pm 0,95$ für $p = 0,05$ und $\pm 1,06$ für $p = 0,01$.

Die Auswertung ergibt für das Azetylen-Sauerstoff-Verfahren einen Abfall der Härtewerte bei Guß 2 und 3 gegenüber dem 1. Guß sowie einen anschließend nahezu horizontalen Verlauf der Kurve. Wesentliche Abweichungen vom horizontalen Verlauf können ausgeschlossen werden, da alle Werte von Guß 3 bis 10 innerhalb des Konfidenzintervalles liegen, wenn man als Vergleichs-

wert den Wert bei Guß 8 gleich Null setzt und die übrigen Werte gegen ihn aufträgt, wie es in Abb. 10 dargestellt ist.

Für die Betrachtung des Austenalverfahrens wurde als Vergleichswert der Wert bei Guß 2 gewählt und gleich Null gesetzt. Es zeigt sich, daß alle Werte von Guß 1 bis 10 innerhalb des Konfidenzintervalles liegen und damit die Folgerung zulässig ist, daß beim Austenal-Verfahren eine nahezu horizontal verlaufende Härtekurve resultiert. Die graphische Darstellung zeigt Abb.11.

Beim SAED-Verfahren kann festgestellt werden, daß die Werte der Güsse 1 bis 5 in etwa das gleiche Niveau haben, da sie innerhalb des Konfidenzintervalles liegen, wenn man den Wert bei Guß 5 gleich Null setzt (Nullinie in der Abbildung) und die übrigen Werte gegen ihn aufträgt wie in Abb.12 dargestellt. Mit Guß 6 bis 10 erfolgt ein hier nicht näher untersuchter Abfall der Härtewerte.

6.1.2.3. Differenzen der Härtewerte bei Guß 1, 9 und 10 zwischen den Verfahren.

Aus den Abb. 2 und 3 ist ersichtlich, daß beim 1. Guß eine größere Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert vorliegt als beim 9. und 10. Guß. Zur Überprüfung dieser Behauptung wurde das Konfidenzintervall nach dem Scheffé-Verfahren berechnet. Die Grenzen liegen bei $\pm 2,35$ für $p = 0,05$ und $\pm 2,55$ für $p = 0,01$. Die größte Mittelwertsdifferenz beim 1. Guß beträgt 3,48 und liegt damit außerhalb, während sie bei Guß 9 und 10 1,12 bzw. 1,74 beträgt und damit innerhalb des Konfidenzintervalles liegt. Somit kann als gesichert gelten, daß keine wesentlichen Abweichungen vorliegen,

die die obige Behauptung widerlegen würden, und es kann gefolgert werden, daß nach anfänglich großer Härtedifferenz zwischen den drei Verfahren mit zunehmendem Verguß schließlich eine Annäherung der Werte erfolgt.

Um dieses Verhalten graphisch zu verdeutlichen, wurde in Abb.13 der Härtewert bei Guß 8 und V r-fahren Azetylen- O_2 gleich Null gesetzt und die übrigen Härtewerte aller Verfahren gegen ihn aufgetragen.

Als Konfidenzgrenzen gelten die nach dem Tukey-Verfahren berechneten Werte von $\pm 0,95$ für

$p = 0,05$ und $\pm 1,06$ für $p = 0,01$. Die entsprechenden Differenzen sind in Tab. 82 aufgeführt. Aus der Darstellung ist zu entnehmen, wie sich die Werte einander nähern und bei Guß 9 und 10 innerhalb des Konfidenzintervalles liegen.

5.1.2.4. Höchstwerte.

Schließlich fällt bei Betrachtung der Härtekurven (Abb. 2-6) noch auf, daß die nach dem SAED-Verfahren erzielten Werte am höchsten sind. Gesichert wird diese Aussage, indem man die Differenz zwischen dem verdoppelten Härtewert von Verfahren 3 und der Summe der Härtewerte von Verfahren 1 und 2 bildet (Tab. 83) und diese Differenzen mit dem nach dem Verfahren von Scheffé berechneten Konfidenzintervall überprüft; dessen Grenzen liegen bei $\pm 2,88$ für $p = 0,05$ und $\pm 3,12$ für $p = 0,01$. Es zeigt sich beim Vergleich der Werte und bei Betrachtung der graphischen Darstellung (Abb.14), daß die bei Verfahren 3 erhaltenen Härtewerte mit Ausnahme der Werte bei Guß 7, 9 und 10 außerhalb des Konfidenzintervalles liegen und somit höher sind als die entsprechenden Werte der beiden anderen Verfahren.

Varianzanalysetabelle

Zeile	Faktoren und Wechselwirkungen	SAQ	FG	MAQ	F-Wert	Beurteilung
1	Prüfkörper	69,456	24	2,894	5,17	++
2	Material	8115,414	1	8115,414	2804,20	++
3	Guß	2429,627	9	269,959	172,50	++
4	Verfahren	1896,533	2	948,267	327,70	++
5	Material/Guß	48,299	9	5,367	3,43	++
6	Material/Verfahren	41,664	2	20,832	7,20	++
7	Guß/Verfahren	1210,867	18	67,270	43,00	++
8	Material/Guß/ Verfahren	145,203	18	8,067	5,15	++
9	Prüfkörper/Guß	338,064	216	1,565	2,80	++
10	Rest	671,600	1200	0,559		

SAQ= Summe der Abweichungsquadrate

FG= Freiheitsgrade

MAQ= Mittlere Abweichungsquadrate

Beurteilung: ++ entspr. signifikant

(Irrtumswahrscheinlichkeit $p=0,01$)

Tab. 70

Härtemittelwerte aus 25 Meßwerten: Prüfkörper/Guß

	Guß									
Mat.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>1. Azetylen-O₂</u>										
1.W.	33,04	32,08	29,84	29,44	30,08	29,32	29,92	28,72	28,76	27,84
2.V.	38,36	37,44	33,96	33,16	33,56	33,52	33,52	33,40	33,00	32,60
<u>2. Austenal</u>										
1.W.	31,40	30,40	29,40	29,92	30,16	29,72	29,56	29,60	29,36	29,68
2.V.	35,68	35,16	35,24	34,80	35,48	35,88	34,96	34,48	34,44	34,24
<u>3. SAED</u>										
1.W.	35,52	34,24	33,00	35,00	34,64	32,56	30,24	31,04	29,44	28,24
2.V.	38,52	37,88	38,12	38,72	38,32	37,36	36,52	35,80	34,56	33,04

Tab.71 (1.W. = Wironit; 2.V. = Vitallium)

Mittelwertsdifferenzen zwischen Material 1 und Material 2
(aus je 25 Meßwerten)

Ver-	Guß									
fahren	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.Azet.	5,32	5,36	4,12	3,72	3,48	4,20	3,60	4,68	4,24	4,76
2.Aust.	4,28	4,76	5,84	4,88	5,32	6,16	5,40	4,88	5,08	4,56
3.SAED	3,00	3,64	5,12	3,72	3,68	4,80	6,28	4,76	5,12	4,80

Tab.72 (1.Azet. = Azetylen-O₂; 2.Aust. = Austenal)

Mittelwertsdifferenzen der Tab.72 nach der Größe geordnet

Ver-	Guß									
fahren	2	1	10	8	9	6	3	4	7	5
1.Azet.	5,36	5,32	4,76	4,68	4,24	4,20	4,12	3,72	3,60	3,48
Ver-	Guß									
fahren	6	3	7	5	9	8	4	2	10	1
2.Aust.	6,16	5,84	5,40	5,32	5,08	4,88	4,88	4,76	4,56	4,28
Ver-	Guß									
fahren	7	9	3	10	6	8	4	5	2	1
3.SAED	6,28	5,12	5,12	4,80	4,80	4,76	3,72	3,68	3,64	3,00

Tab.73

Vergleichsmatrix der Mittelwertsdifferenzen
bei Verfahren 1

Guß		1	10	8	9	6	3	4	7	5
	Wert	5,32	4,76	4,68	4,24	4,20	4,12	3,72	3,60	3,48
2	5,36	0,04	0,60	0,68	1,12	1,16	1,24	1,64	1,76	1,88
1	5,32		0,56	0,64	1,08	1,12	1,20	1,60	1,72	1,84
10	4,76			0,08	0,52	0,56	0,64	1,04	1,16	1,28
8	4,68				0,44	0,48	0,56	0,96	1,08	1,20
9	4,24					0,04	0,12	0,52	0,64	0,76
6	4,20						0,08	0,48	0,60	0,72
3	4,12							0,40	0,52	0,64
4	3,72								0,12	0,24
7	3,60									0,12
5	3,48									

Tab.74

Vergleichsmatrix der Mittelwertsdifferenzen
bei Verfahren 2

Guß		3	7	5	9	8	4	2	10	1
	Wert	5,84	5,40	5,32	5,08	4,88	4,88	4,76	4,56	4,28
6	6,16	0,32	0,76	0,84	1,08	1,28	1,28	1,40	1,60	1,88
3	5,84		0,44	0,52	0,76	0,96	0,96	1,08	1,28	1,56
7	5,40			0,08	0,32	0,52	0,52	0,64	0,84	1,12
5	5,32				0,24	0,44	0,44	0,56	0,76	1,04
9	5,08					0,20	0,20	0,32	0,52	0,80
8	4,88						0,00	0,12	0,32	0,60
4	4,88							0,12	0,32	0,60
2	4,76								0,20	0,48
10	4,56									0,28
1	4,28									

Tab.75

Vergleichsmatrix der Mittelwertsdifferenzen
bei Verfahren 3

Guß		9	3	10	6	8	4	5	2	1
	Wert	5,12	5,12	4,80	4,80	4,76	3,72	3,68	3,64	3,00
7	6,28	1,16	1,16	1,48	1,48	1,52	2,56	2,60	2,64	3,28
9	5,12		0,00	0,32	0,32	0,36	1,40	1,44	1,48	2,12
3	5,12			0,32	0,32	0,36	1,40	1,44	1,48	2,12
10	4,80				0,00	0,04	1,08	1,12	1,16	1,80
6	4,80					0,04	1,08	1,12	1,16	1,80
8	4,76						1,04	1,08	1,12	1,76
4	3,72							0,04	0,08	0,72
5	3,68								0,04	0,68
2	3,64									0,64
1	3,00									

Tab.76

Härte-Mittelwerte aus 50 Meßwerten
(Prüfkörper/Guß/Material)

	Guß									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>Verf.1: Azetylen-O₂</u>	35,70	34,76	31,90	31,30	31,82	31,42	31,72	31,06	30,88	30,22
<u>Verf.2: Austenal</u>	33,54	32,78	32,32	32,36	32,82	32,80	32,26	32,04	31,90	31,96
<u>Verf.3: SAE</u>	37,02	36,06	35,56	36,86	36,48	34,96	33,38	33,42	32,00	30,64

Tab.77

Härte-Mittelwerte aus 50 Meßwerten
nach der Größe geordnet

Verf.1: Azetylen-O₂

Guß	1	2	3	5	7	6	4	8	9	10
	35,70	34,76	31,90	31,82	31,72	31,42	31,30	31,06	30,88	30,22

Verf.2: Austenal

Guß	1	5	6	2	4	3	7	8	10	9
	33,54	32,82	32,80	32,78	32,36	32,32	32,26	32,04	31,96	31,90

Verf.3: SAE

Guß	1	4	5	2	3	6	8	7	9	10
	37,02	36,86	36,48	36,06	35,56	34,96	33,42	33,38	32,00	30,64

Tab.78

Vergleichsmatrix der Material-Mittelwerte
bei Verfahren 1

Guß		2	3	5	7	6	4	8	9	10
Wert		34,76	31,90	31,82	31,72	31,42	31,30	31,06	30,88	30,22
1	35,70	0,94	3,80	3,88	3,98	4,28	4,40	4,64	4,82	5,48
2	34,76		2,86	2,94	3,04	3,34	3,46	3,70	3,88	4,54
3	31,90			0,08	0,18	0,48	0,60	0,84	1,02	1,68
5	31,82				0,10	0,40	0,52	0,76	0,94	1,60
7	31,72					0,30	0,42	0,66	0,84	1,50
6	31,42						0,12	0,36	0,54	1,20
4	31,30							0,24	0,42	1,08
8	31,06								0,18	0,84
9	30,88									0,66
10	30,22									

Tab.79

Vergleichsmatrix der Materialmittelwerte
bei Verfahren 2

Guß		5	6	2	4	3	7	8	10	9
	Wert	32,82	32,80	32,78	32,36	32,32	32,26	32,04	31,96	31,90
1	33,54	0,72	0,74	0,76	1,18	1,22	1,28	1,50	1,58	1,64
5	32,82		0,02	0,04	0,46	0,50	0,56	0,78	0,86	0,92
6	32,80			0,02	0,44	0,48	0,54	0,76	0,84	0,90
2	32,78				0,42	0,46	0,52	0,74	0,82	0,88
4	32,36					0,04	0,10	0,32	0,40	0,46
3	32,32						0,06	0,28	0,36	0,42
7	32,26							0,22	0,30	0,36
8	32,04								0,08	0,14
10	31,96									0,06
9	31,90									

Tab.80

Vergleichsmatrix der Materialmittelwerte
bei Verfahren 3

Guß		4	5	2	3	6	8	7	9	10
	Wert	36,86	36,48	36,06	35,56	34,96	33,42	33,38	32,00	30,64
1	37,02	0,16	0,54	0,96	1,46	2,06	3,60	3,64	5,02	6,38
4	36,86		0,38	0,80	1,30	1,90	3,44	3,48	4,86	6,22
5	36,48			0,42	0,92	1,52	3,06	3,10	4,48	5,84
2	36,06				0,50	1,10	2,64	2,68	4,06	5,42
3	35,56					0,60	2,14	2,18	3,56	4,92
6	34,96						1,54	1,58	2,96	4,32
8	33,42							0,04	1,42	2,78
7	33,38								1,38	2,74
9	32,00									1,36
10	30,64									

Tab.81

Differenzen zwischen allen Material-Mittelwerten
und dem Wert bei Guß 8 bei Verfahren 1 (Wert: 31,06)

Guß										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<u>Differenzen: Azetylen-O₂ - 8.Guß Azetylen-O₂</u>										
4,64	3,70	0,84	0,24	0,76	0,36	0,66	0,00	-0,18	-0,84	
<u>Differenzen: Austenal - 8.Guß Azetylen-O₂</u>										
2,48	1,72	1,26	1,30	1,76	1,74	1,20	0,98	0,84	0,90	
<u>Differenzen: S&D - 8.Guß Azetylen-O₂</u>										
5,96	5,00	4,50	5,80	5,42	3,90	2,32	2,36	0,94	-0,42	

Tab.82

Differenzen zwischen Verfahren 3 und Verfahren 1+2

Guß										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<u>2 x Verfahren 3</u>										
74,04	72,12	71,12	73,72	72,96	69,92	66,76	66,84	64,00	61,28	
<u>Verfahren 1 + Verfahren 2</u>										
69,24	67,54	64,22	63,66	64,64	64,22	63,98	63,10	62,78	62,18	
<u>Differenzen: 2 x Verfahren 3 - (Verfahren 1+2)</u>										
4,80	4,58	6,90	10,06	8,32	5,70	2,78	3,74	1,22	-0,90	

Tab.83

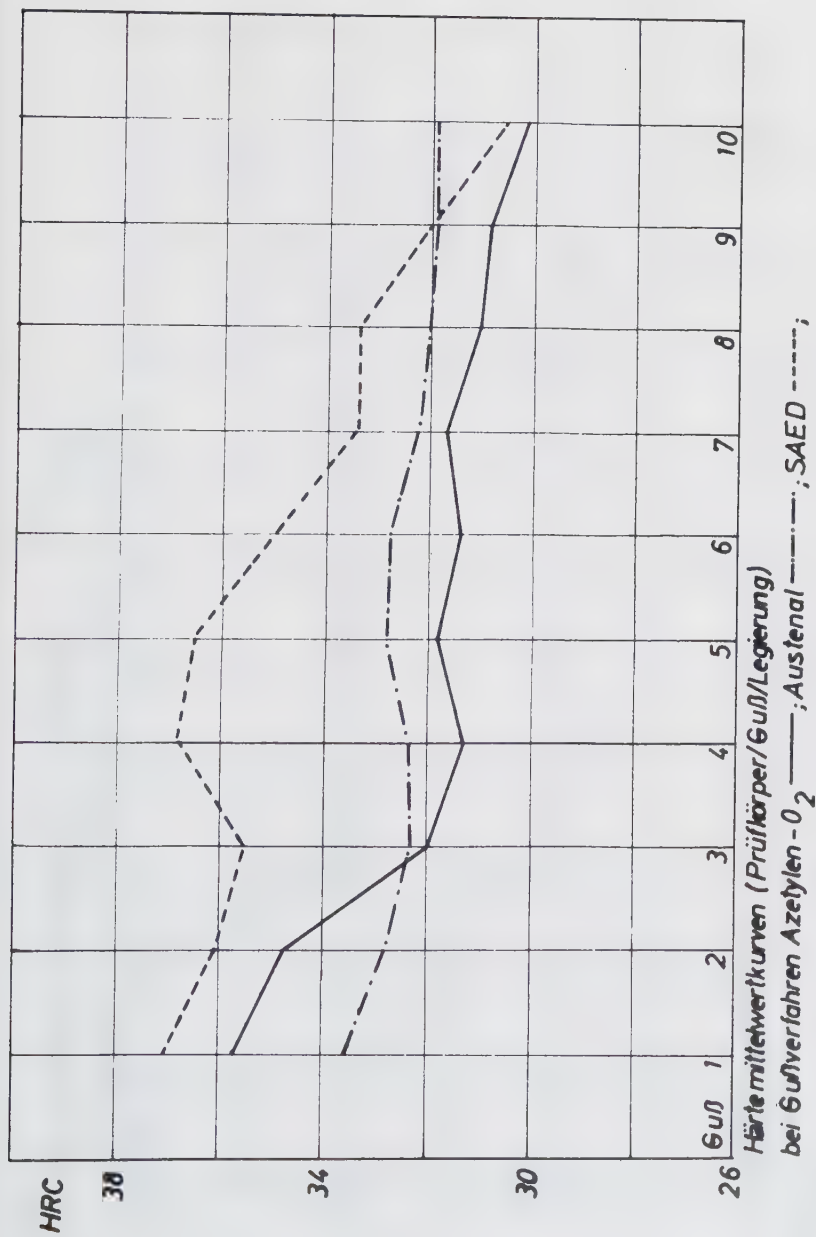
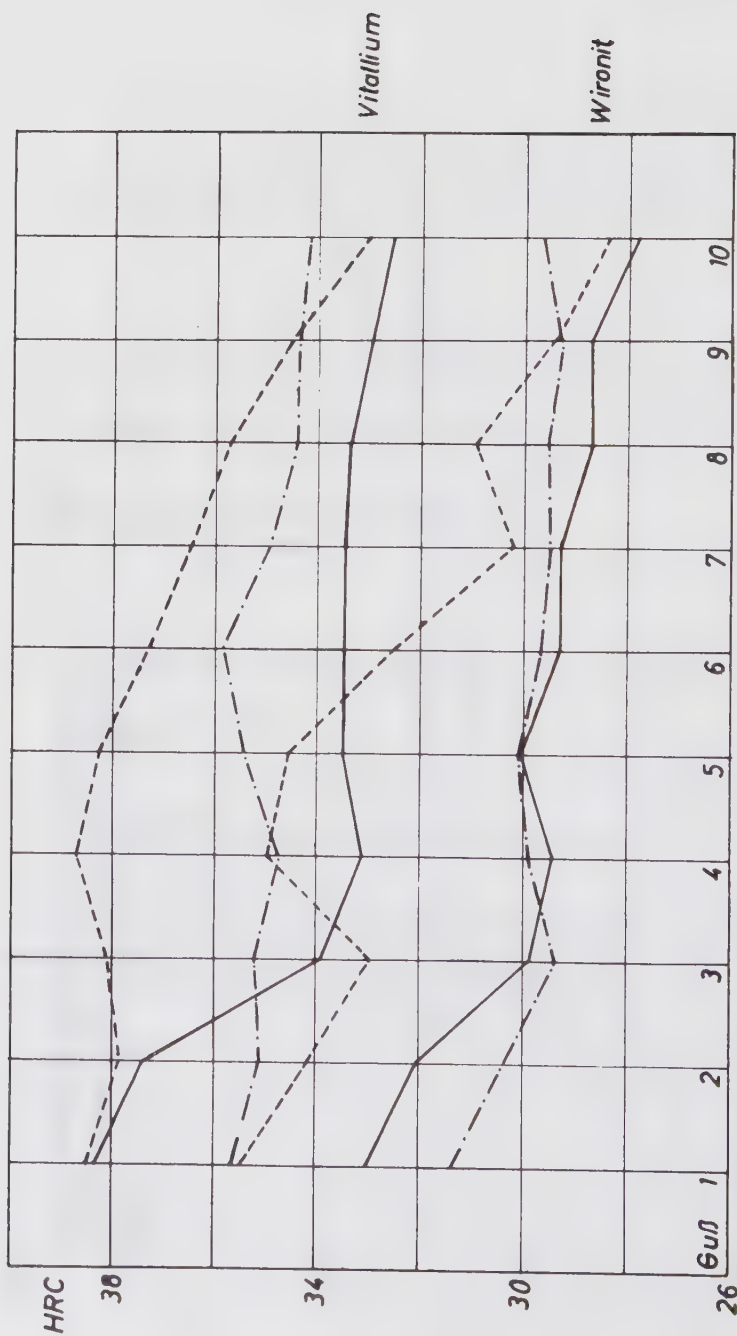


Abb. 2



Härtemittelwertkurven (Prüfkörper/Guß) von Wironit und Vitallium bei Gußverfahren Azetylen- O_2 —; Ausland — — —; SAED — — —; Abb. 3

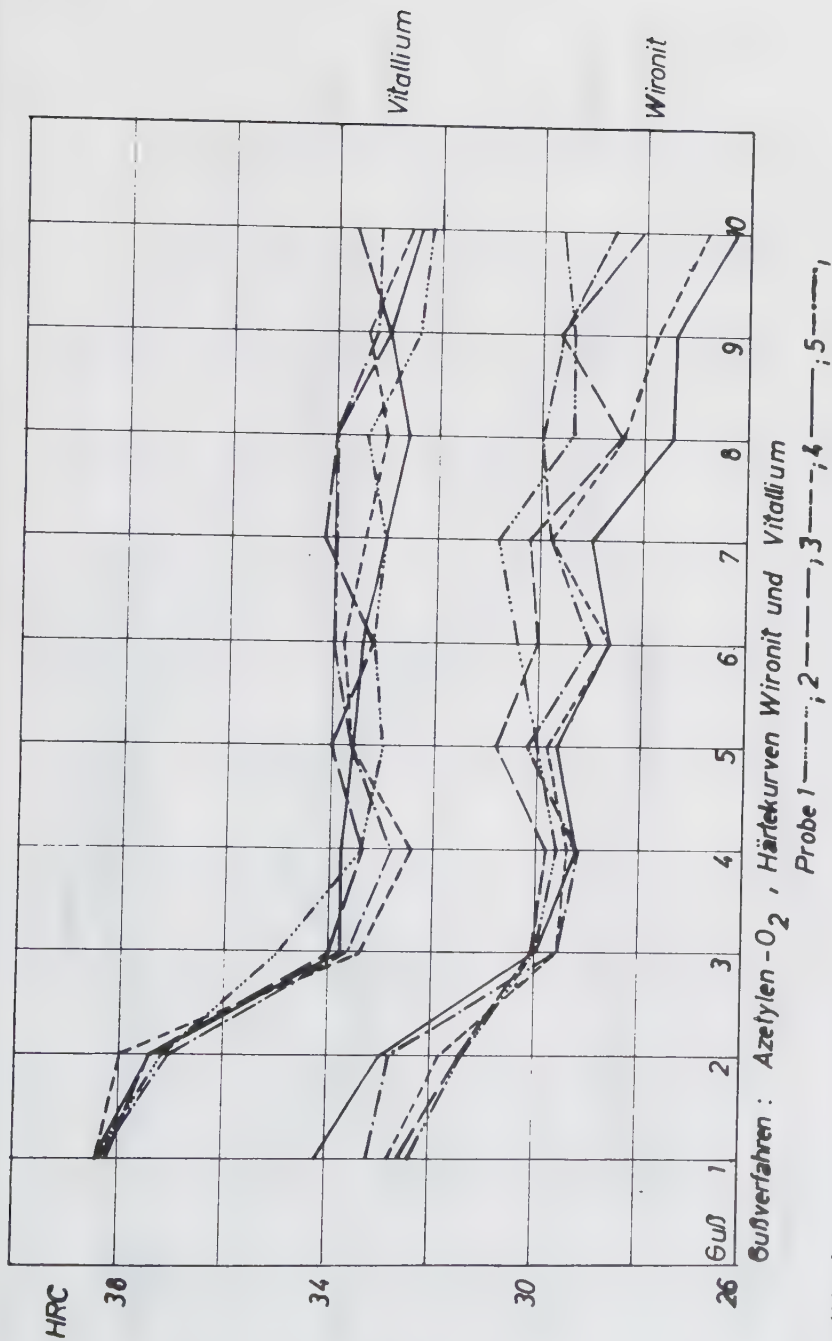


Abb. 4

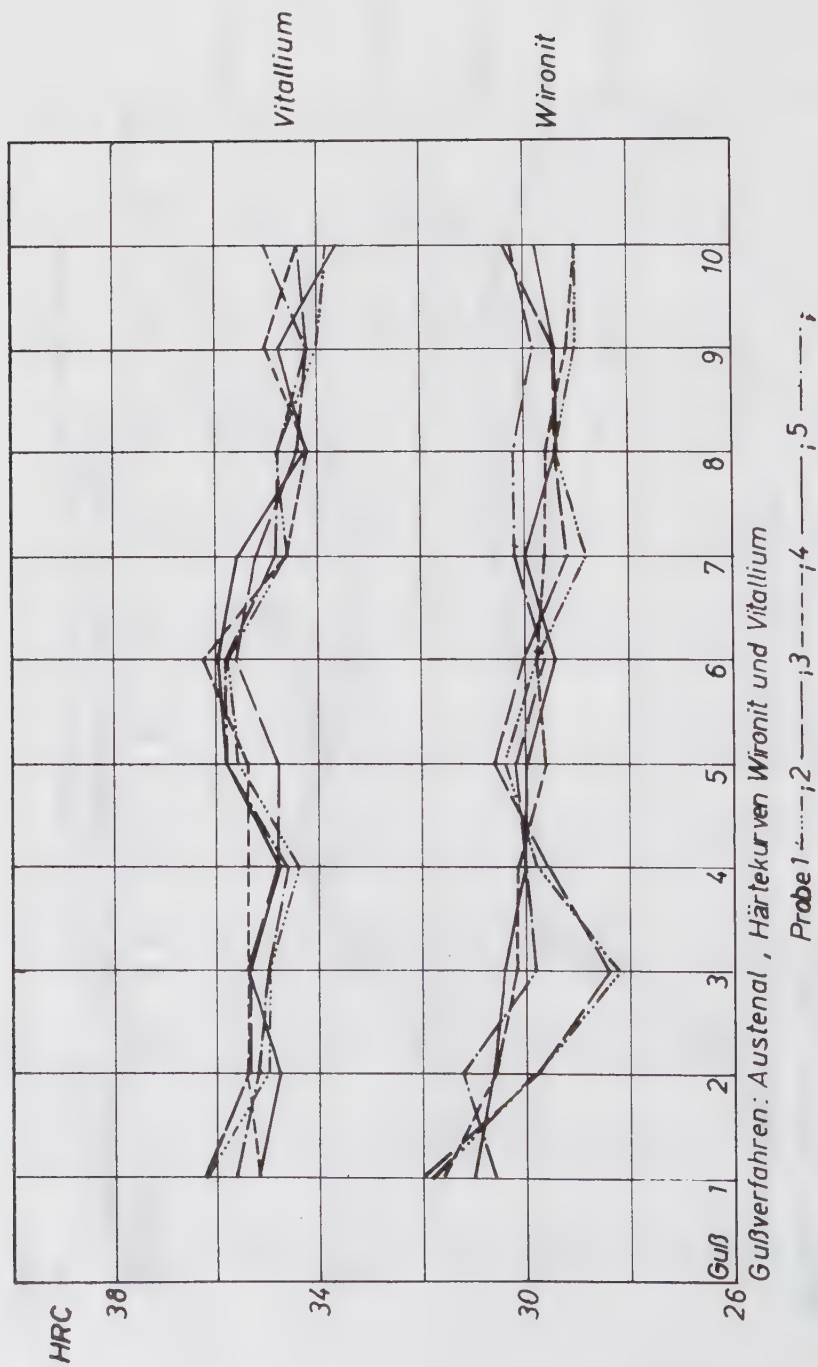


Abb. 5

Vitalium

Wironit

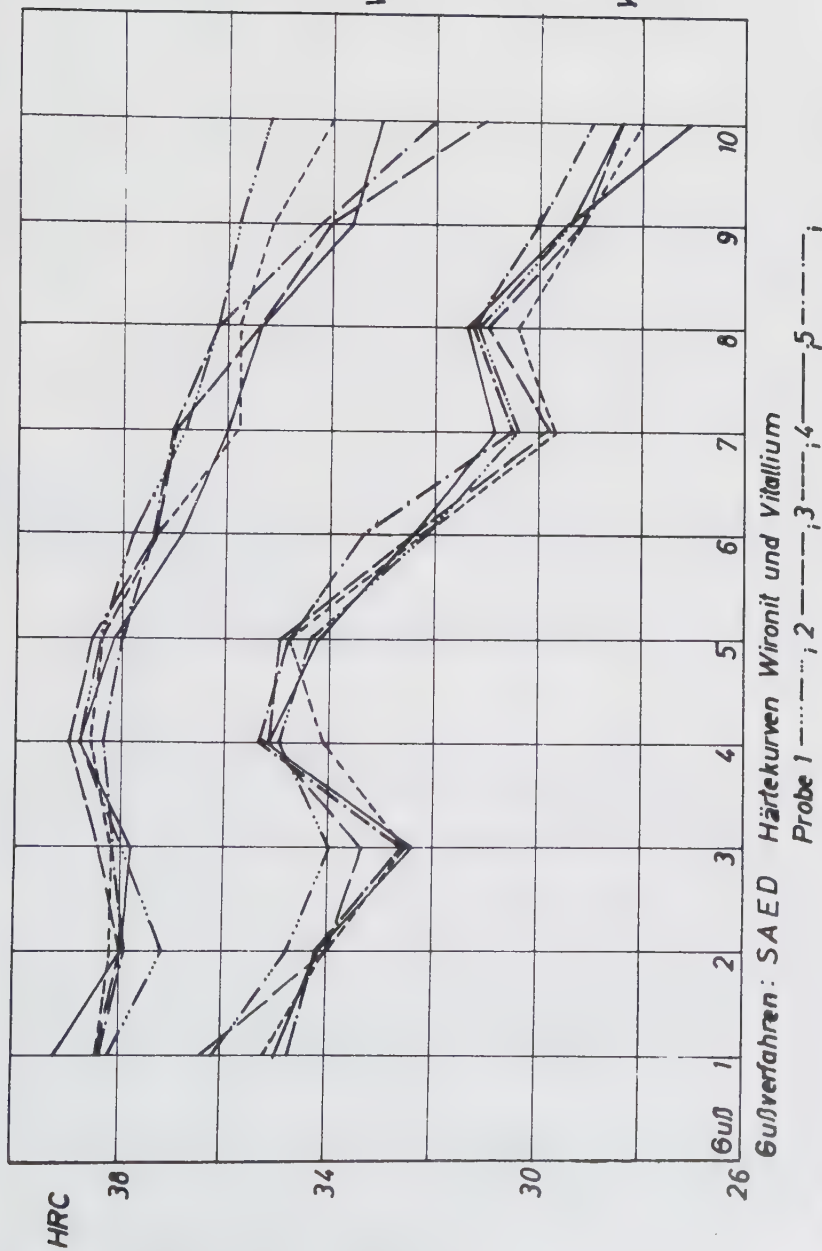


Abb. 6

Abb. 7-9 Verhalten der Differenzen Wironit-Vitallium bei
wiederholtem Verguß im Vergleich zur Differenz beim
1.Guß (Nullinie), dargestellt für jedes der 3 Verfahren.



Abb. 7: Verfahren Azetylen-O₂

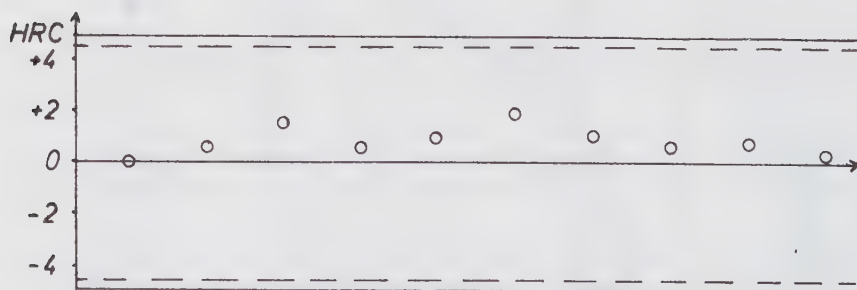


Abb. 8: Verfahren Austenal

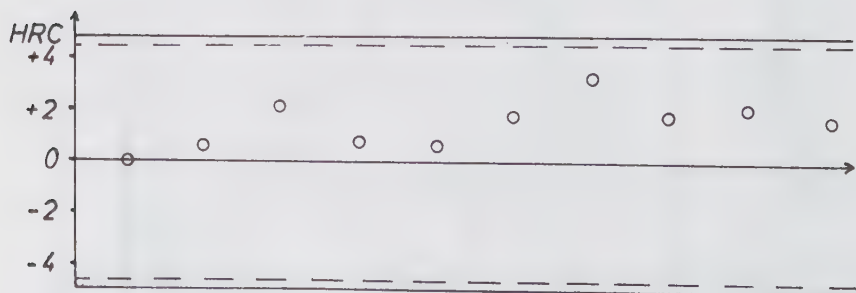


Abb. 9: Verfahren SAED

————— p = 0,01
 - - - - - p = 0,05



Abb.10: Verhalten der Härtewerte nach Verfahren Azetylen- O_2 bei wiederholtem Verguß bezogen auf den Wert bei Guß 8 (Nulllinie in der Abbildung).



Abb.11: Verhalten der Härtewerte nach Verfahren Austenal bei wiederholtem Verguß bezogen auf den Wert bei Guß 2 (Nulllinie in der Abbildung).

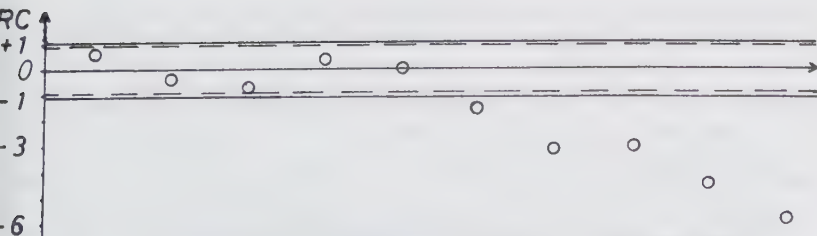


Abb.12: Verhalten der Härtewerte nach Verfahren SAED bei wiederholtem Verguß bezogen auf den Wert bei Guß 5 (Nulllinie in der Abbildung).

————— $p = 0,01$
 - - - - - $p = 0,05$



Abb.13: Verhalten der Härtewerte beim wiederholtem Verguß bezogen auf den 8.Guß bei Verfahren Azetylen-O₂ (Nulllinie in der Abbildung).
Verfahren Azetylen-O₂: X; Verfahren Austenal: O; Verfahren SAED: □.

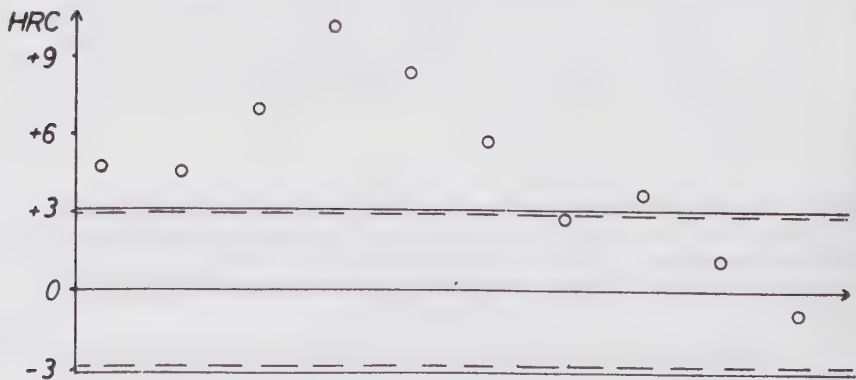


Abb.14: Vergleich des Verfahrens SAED (V_3) mit Verfahren Azetylen-O₂ (V_1) und Verfahren Austenal (V_2); dargestellt für jeden Guß ist der Kontrast:
 $2 \cdot V_3 - (V_1 + V_2)$.

————— $p = 0,01$

————— $p = 0,05$

6.2. Schliffbilder.

Eine Übersicht über Proben für Schliffbilder und chemische Analysen zeigt Tab. 84 (S.54).

Die geätzten Schliffe lassen zwei verschiedene Phasen erkennen. Die erste erscheint schwarz gefärbt, die zweite in einem helleren Grauton. Beide konnten mit der Mikrosonde identifiziert werden. Bei der ersten Phase handelt es sich um ein Karbid der Form M_3C_2 , das sich folgendermaßen zusammensetzt:

C :	10,62	Gew. %	
Cr:	66,71	"	"
Fe:	0,44	"	"
Co:	12,75	"	"
Mo:	9,54	"	"

Die zweite Phase stellt eine intermetallische Verbindung folgender Zusammensetzung dar:

Cr:	45,91	Gew. %	
Fe:	1,85	"	"
Co:	39,56	"	"
Mo:	8,49	"	"
W :	1,03	"	"

Die Abbildungen 15 bis 26 (S.56-58) veranschaulichen das Gefüge von Wironit, geordnet nach den drei angewandten Gußverfahren. Auffällig sind die großen Strukturen bei Gußverfahren Austenal nach dem ersten Guß; nach dem zehnten Guß liegen beide Phasen bei allen Gußverfahren in verminderter Zahl vor, wobei die Strukturen bei Verfahren Azetylen- O_2 größer und bei Verfahren Austenal und SAED kleiner geworden sind. Am deutlichsten ist der Rückgang in Größe und Anzahl beider Phasen bei Verfahren SAED ausgeprägt.

Das Gefüge von Vitallium ist in den Abbildungen 27 bis 38 (S.59-61) ersichtlich. Bei allen Gußverfahren zeigt die Legierung nach dem ersten Guß große, reich verzweigte Strukturen beider Phasen, ähnlich Wironit nach Guß 1

und Verfahren Austenal (Abb. 19 u.21, S.57). Nach dem 10. Guß liegen nur noch erheblich kleinere Formen vor, auffällige Unterschiede zwischen den Schliffbildern von Wironit und Vitallium sind nicht mehr vorhanden.

Gußverfahren	Legierung	Guß	Bezeichnung im Gußschema	Rockwellhärte (Mittelwerte)
Azetylen-O ₂	Wironit	1	1.1.1.6.	33
Austenal	Wironit	1	2.1.1.6.	32
SAED	Wironit	1	3.1.1.6.	35
Azetylen-O ₂	Vitallium	1	1.2.1.6.	38
Austenal	Vitallium	1	2.2.1.6.	36
SAED	Vitallium	1	3.2.1.6.	38
Azetylen-O ₂	Wironit	10	1.1.10.2.	28
Austenal	Wironit	10	2.1.10.2.	30
SAED	Wironit	10	3.1.10.3.	28
Azetylen-O ₂	Vitallium	10	1.2.10.1.	32
Austenal	Vitallium	10	2.2.10.2.	34
SAED	Vitallium	10	3.2.10.5.	32

Tab.84: Übersicht über die Proben für Schliffbilder
und chemische Analysen.

Zur Bestimmung des Reinheitsgrades wurden die 100-fach vergrößerten Schliffbilder mit den Richtreihen 1.02.0 und 1.07.0 (spröde Oxydschlacken, aufgelöste Form und Oxydschlacken in Vielpunkt-Form) nach DIERGARTEN (9,S.13) verglichen. Die Ergebnisse sind in Tab.85 (S.55) wiedergegeben. Es zeigte sich, daß nur jeweils die kleinsten Formen von Verunreinigungen beim ersten und zehnten Guß auftraten.

Reinheitsgrad nach Diergarten von Wironit und Vitallium
nach ein- und 10maligem Erschmelzen.

Gußverfahren	Legierung	Guß	Reinheitsgrad	Reinheitsgrad
			Aufgelöste Form 1.02.0	Vielpunkt-Form 1.07.0
Azetylen-O ₂	Wironit	1	1.02.1	-----
Austenit	Wironit	1	vereinzelt 1.02.1.	-----
SAED	Wironit	1	1.02.1	vereinzelt 1.07.1
Azetylen-O ₂	Vitallium	1	1.02.1 und kleiner	-----
Austenit	Vitallium	1	1.02.1 und kleiner	-----
SAED	Vitallium	1	1.02.1 und kleiner	-----
Azetylen-O ₂	Wironit	10	vereinzelt 1.02.1	-----
Austenit	Wironit	10	1.02.1 und kleiner	-----
SAED	Wironit	10	zahlreich 1.02.1	vereinzelt 1.07.1
Azetylen-O ₂	Vitallium	10	1.02.1 und kleiner	-----
Austenit	Vitallium	10	1.02.1 und kleiner	-----
SAED	Vitallium	10	-----	übersät mit 1.07.1 und kleiner

Tab. 85

Abb. 15-18 Schliffbilder Wironit
bei Gußverfahren Azetylen- O_2

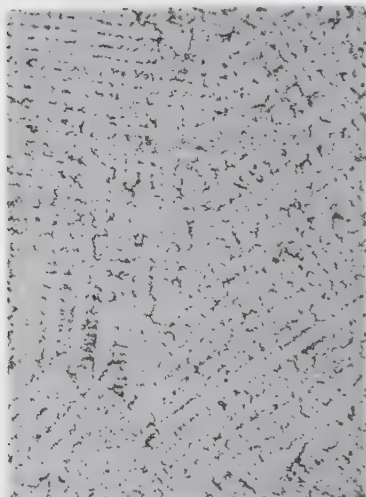


Abb. 15 nach Guß 1 (100:1)

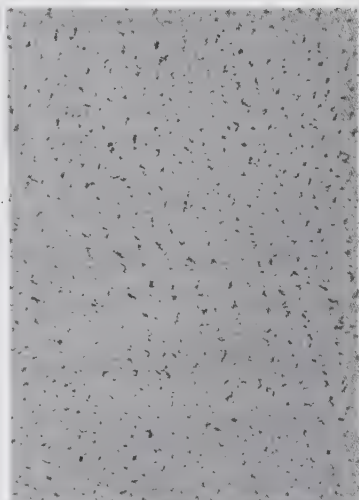


Abb. 16 nach Guß 10 (100:1)



Abb. 17 nach Guß 1 (500:1)

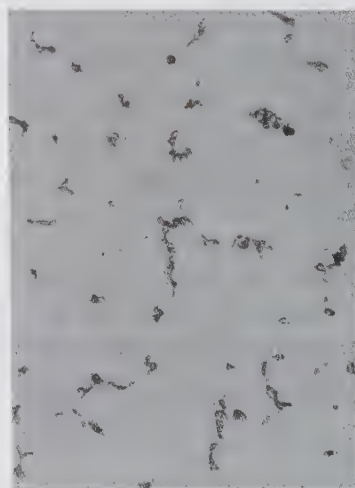


Abb. 18 nach Guß 10 (500:1)

**Abb. 19-22 Schliffbilder Wironit
bei Gußverfahren Austenal**

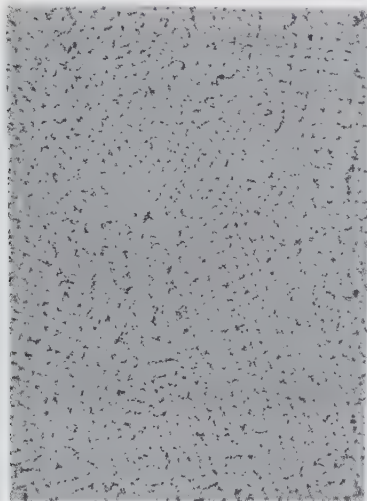


Abb. 19 nach Guß 1 (100:1)



Abb. 20 nach Guß 10 (100:1)



Abb. 21 nach Guß 1 (500:1)



Abb. 22 nach Guß 10 (500:1)

Abb. 23-26 Schliffbilder Wironit
bei Gußverfahren SAED



Abb. 23 nach Guß 1 (100:1)



Abb. 24 nach Guß 10 (100:1)



Abb. 25 nach Guß 1 (500:1)



Abb. 26 nach Guß 10 (500:1)

Abb. 27-30 Schliffbilder Vitallium
bei Gußverfahren Azetylen-O₂

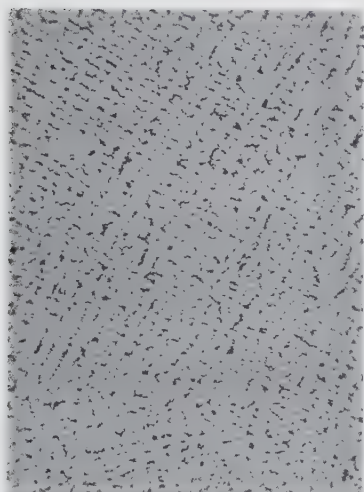


Abb. 27 nach Guß 1 (100:1)



Abb. 28 nach Guß 10 (100:1)



Abb. 29 nach Guß 1 (500:1)



Abb. 30 nach Guß 10 (500:1)

Abb. 31-34 Schliffbilder Vitallium
bei Gußverfahren Austenal



Abb. 31 nach Guß 1 (100:1)



Abb. 32 nach Guß 10 (100:1)



Abb. 33 nach Guß 1 (500:1)



Abb. 34 nach Guß 10 (500:1)

Abb. 35-38 Schliffbilder Vitallium
bei Gußverfahren SAED



Abb. 35 nach Guß 1 (100:1)



Abb. 36 nach Guß 10 (100:1)

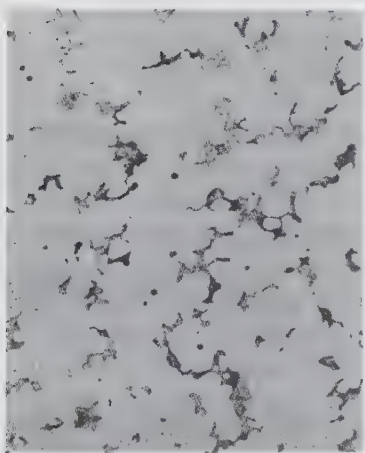


Abb. 37 nach Guß 1 (500:1)



Abb. 38 nach Guß 10 (500:1)

6.3. Chemische Analysen.

Es sei darauf hingewiesen, daß die chemischen Analysen in zu geringem Umfang durchgeführt wurden, als daß mit statistischen Methoden eine begründete Aussage gemacht werden könnte. Trotz dieser Einschränkung werden jedoch bei der vergleichenden Betrachtung aller 12 Analysen bestimmte Verhaltensweisen der Materialien deutlich sichtbar.

Die Ergebnisse der chemischen Analysen sind in Tab.86 (S.64) wiedergegeben. Die Analysen nach dem ersten Guß zeigen gegenüber den in den Tab. 2 und 3 (S. 18 und 19) angegebenen Legierungskomponenten Abweichungen, die verschieden interpretiert werden können (vergl. 7.3); deswegen werden als Bezugswerte die Analysenergebnisse beim ersten Guß genommen. Nach dem zehnten Guß zeigen sich extreme Manganverluste, starke Rückgänge des Siliziumanteils und zusätzlich bei Verfahren 1 eine deutliche Chromeinbuße. Andererseits kommt es zu einer durch die Verluste bedingten relativen Molybdänanreicherung und ebenso in der Bilanz zu einem Kobaltanstieg. Der Kohlenstoffgehalt hat sich nur geringfügig verändert, abgesehen von einer Probe (Wironit bei Gußverfahren SAED), wo es zu einer erheblichen Kohlenstoffeinbuße kam. Über den Eisenanteil kann keine Aussage gemacht werden, da jedes Anfassen der Proben mit eisenhaltigen Werkzeugen den geringen Eisengehalt von Wironit und Vitallium bereits deutlich im Sinne einer Zunahme beeinflussen kann; andererseits kann aber die Möglichkeit eines intensiven Eisenabbrandes auch nicht ausgeschlossen werden, denn QUINQUE (23, S.72a) stellte bereits nach einmaligem Erschmelzen beachtliche Eisenverluste fest. Die Anteile der

Legierungskomponenten beim zehnten Guß sind in Tab.87 (S.64) in % bezogen auf die Anteile beim ersten Guß (= 100%) angegeben. Die Beziehung ist in Abb. 39 (S.65) graphisch verdeutlicht.

Die Bestimmung der Gasgehalte (Tab. 88, S.66) zeigte nach dem zehnten Guß eine deutliche Zunahme an Sauerstoff und Stickstoff gegenüber Guß 1. Die größte Anreicherung an Sauerstoff erfolgte beim Erschmelzen mit Azetylen-O₂, die Stickstoffzunahme war bei den Güssen nach dem SAED-Verfahren am auffälligsten. Nach dem Austenal-Verfahren ergaben sich die geringsten Anstiege der Gasgehalte, allerdings lag der Sauerstoffgehalt beim ersten Guß höher als bei den anderen Verfahren.

Legierungskomponenten in % nach der chemischen Analyse
von Wironit und Vitallium nach dem 1. und 10. Guß.

G. ⁺)	Legierung	Guß	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	Fe %
1	Wironit	1	0,40	0,59	0,20	26,83	5,13	0,48
2	Wironit	1	0,40	0,60	0,26	27,38	5,07	0,47
3	Wironit	1	0,39	0,55	0,22	27,21	5,12	0,47
1	Vitallium	1	0,47	0,61	0,50	30,38	5,77	0,14
2	Vitallium	1	0,49	0,63	0,70	31,06	5,73	0,16
3	Vitallium	1	0,50	0,45	0,47	30,76	5,75	0,17
1	Wironit	10	0,36	0,33	0,01	20,06	5,63	0,51
2	Wironit	10	0,41	0,37	0,07	25,11	5,28	0,49
3	Wironit	10	0,18	0,28	0,04	23,23	5,46	0,55
1	Vitallium	10	0,47	0,35	0,01	22,38	6,52	0,19
2	Vitallium	10	0,50	0,38	0,12	28,77	5,94	0,21
3	Vitallium	10	0,51	0,31	0,14	27,07	5,83	0,16
Streuungsbreite der Analyse			±0,01	±0,02	±0,01	±0,10	±0,10	±0,02

Tab. 86

Anteile der Legierungskomponenten nach Guß 10
in % der entsprechenden Anteile nach Guß 1.

(Anteil nach Guß 1 = 100 %)

G. ⁺)	Legierung	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	Fe %
1	Wironit	90,0	55,9	5,0	74,7	109,7	106,2
2	Wironit	102,5	61,6	26,9	91,7	104,1	104,2
3	Wironit	46,1	50,9	18,1	85,3	106,6	117,0
1	Vitallium	100,0	57,3	2,0	73,6	112,9	135,7
2	Vitallium	102,0	60,3	17,1	92,6	103,6	131,2
3	Vitallium	102,0	68,8	29,7	94,5	101,4	94,1

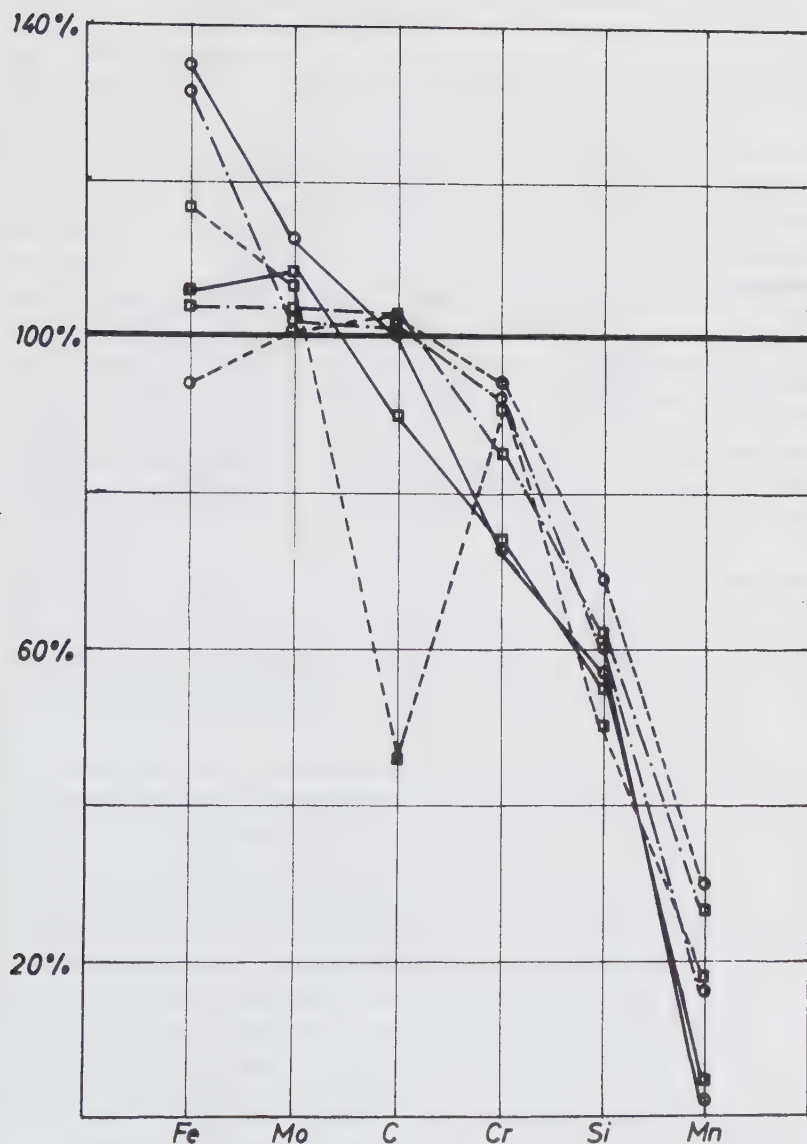
Tab. 87

+) G. = Gußverfahren

1 = Verfahren Azetylen-O₂

2 = Verfahren Austenal

3 = Verfahren SAED



Verhältnis der Anteile der Legierungskomponenten in Prozent
zwischen 1. Guß (100%.-Linie) und 10. Guß

bei Wironit □

und Vitallium ○

} für Gußverfahren Azetylen-O₂

Austenal

SAED

Gasgehalte von Wironit und Vitallium
nach ein- und 10maligem Erschmelzen

Gußverfahren	Legierung	Guß	Gehalt in %		Zunahme in %	
			O	N	O	N
Azetylen-O ₂	Wironit	1	0.0127	0.069		
Austenal	Wironit	1	0.0218	0.069		
SAED	Wironit	1	0.0181	0.070		
Azetylen-O ₂	Vitallium	1	0.0110	0.095		
Austenal	Vitallium	1	0.0420	0.075		
SAED	Vitallium	1	0.0305	0.070		
Azetylen-O ₂	Wironit	10	0.0420	0.078	+230	+13
Austenal	Wironit	10	0.0230	0.078	+ 5,5	+13
SAED	Wironit	10	0.0490	0.092	+170	+31
Azetylen-O ₂	Vitallium	10	0.0230	0.103	+110	+ 8
Austenal	Vitallium	10	0.0600	0.082	+ 43	+10
SAED	Vitallium	10	0.0515	0.126	+ 69	+70

Tab. 88

7. DISKUSSION DER ERGEBNISSE.

7.1. Härteergebnisse.

Bezogen auf die beschriebene Versuchsanordnung kann den Härteuntersuchungen (6.1.2) zufolge festgestellt werden, daß das Verhalten der Härte nach wiederholtem Verguß nicht von den Legierungen, sondern vom gewählten Gußverfahren abhängt. Die Untersuchung hat ergeben, daß die beiden Legierungen Wironit und Vitallium jeweils einer Härtekurve folgen, die als charakteristisch für das Gußverfahren angesehen werden kann. Die Härte-differenzen zwischen den drei angewandten Gußverfahren sind anfänglich größer, werden aber mit zunehmender Gußzahl kleiner. Waren anfangs die hohen Härtewerte für das Azetylen-O₂- und SAED-Verfahren charakteristisch, so liegen bei Guß 9 und 10 keine Werte mehr vor, die für ein Verfahren typisch wären, vielmehr liegen alle Werte auf dem gleichen Niveau. Dies zeigt, daß die drei verschiedenen Gußverfahren nach 10 Güssen zu einem gemeinsamen "Endhärtewert" führen. Sicherlich würde aber exzessives Wiedervergießen zu einem weiteren Absinken der Härte und schließlich zur Zerstörung des Gefüges führen.

Mit jedem der drei Gußverfahren werden Objekte mit sehr guter Härteeigenschaft erzielt. Die beschriebenen Differenzen zwischen den Verfahren sind nicht so groß, daß man schließen könnte, mit einem Verfahren erheblich bessere Härtewerte zu erhalten. Es wurde mit statistischer Signifikanz nachgewiesen, daß die Härte durch das wiederholte Aufschmelzen absinkt. Trotzdem resultieren nach 10 Güssen noch so große Härtewerte, daß der Verwendung der Legierungen zu prothetischen Zwecken auch nach wiederholtem Verguß zugestimmt werden kann.

Auch nach 10maligem Erschmelzen ist die Härte von Co-Cr-Legierungen noch erheblich höher als die von Goldlegierungen.

Allerdings ist die Eignung einer Legierung zu prothetischen Zwecken niemals allein von der guten Härteeigenschaft, sondern vor allem vom elastischen Verhalten abhängig. HARCOURT (17; 19) stellte fest, daß nach 9maligem Erschmelzen mit Azetylen- O_2 Zugfestigkeit und Streckgrenze bei höherer Dehnung etwas niedriger wurden, während sich nach 12 Induktionsglüssen höhere Werte für Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung ergaben. Es erscheint jedoch nicht zulässig, HARCOURT's Ergebnisse ohne weiteres auf unsere Legierungen zu übertragen, wie schon oben (2.5) begründet wurde.

Daher kann der Verwendung unserer dentalen Co-Cr-Legierungen nach wiederholtem Erschmelzen trotz ausreichender Härte erst dann zugestimmt werden, wenn erwiesen ist, daß sich der wiederholte Verguß auch auf die elastischen Eigenschaften nicht nachteilig auswirkt.

7.2. Schliffbilder.

ASGAR und PEYTON (4; 5) sowie HARCOURT (17) stellten aufgrund ihrer Untersuchungen fest, daß unterschiedliche Strukturen geänderte mechanische Eigenschaften bewirken. In der eigenen Untersuchung zeigte sich bei beiden Legierungen und allen Gußverfahren eine auffällige Veränderung der Struktur zwischen erstem und letztem Guß. Diese strukturellen Unterschiede kommen in dem Abfall der Härtewerte bei Guß 10 zum Ausdruck.

Die Bestimmung des Reinheitsgrades nach DIERGARTEN (9) zeigte, daß sich bei beiden Legierungen mit den drei angewandten Gußverfahren nur geringfügige Schlackeneinschlüsse ergeben; auch nach 10maligem Erschmelzen ist der Reinheitsgrad sehr gut.

7.3. Chemische Analyse.

Die Ergebnisse der chemischen Analyse haben, wie bei 6.3. ausgeführt, nur eingeschränkte Bedeutung. Auffällig sind zunächst die Unterschiede in den Zusammensetzungen der Legierungen zwischen den Angaben in Tab. 2 und 3 (S. 18 und 19) und den Analysenwerten für den ersten Guß (Tab. 86, S.64), insbesondere bei Vitallium. Die Angaben für Wironit dürften weitgehend richtig sein, da - wie Guß 10 zeigt - Si, Mn und in bescheidenerem Umfang Cr zum Abbrand neigen und daher sicherlich schon beim ersten Erschmelzen ein Teil dieser Komponenten verbrennt. Sicher nicht richtig sind die Angaben über die Komponentenanteile von Vitallium; dessen Gehalt an C, Si, Mn und Mo muß im Anlieferungszustand höher sein als angegeben wurde, da es unmöglich ist, durch einmaliges Erschmelzen unter den verschiedenen definierten Bedingungen eine Anreicherung dieser Elemente in der Legierung zu bewirken. Es wäre sinnvoll gewesen, von den Legierungen im Anlieferungszustand Analysen herzustellen und mit diesen als Leerwert die Analysen nach den Güssen zu vergleichen. In Ermangelung dieser Analyse wurden die Komponentenanteile nach Guß 1 und 10 verglichen und dargestellt (6.3).

Große Verluste an Mn und Si und in kleinerem Umfang an Cr zeigen auch die Analysen von HARCOURT nach wiederholtem Verguß sowohl beim induktiven Erschmelzen (19) als auch beim Erschmelzen mit der Flamme (17). Wegen des Chromverlustes hält HARCOURT eine Verringerung der Korrosionsresistenz für möglich, die jedoch m.E. - wenn überhaupt - so gering sein muß, daß sie keinerlei praktische Bedeutung besitzt, da

- 1.) der Chromanteil trotz des Verlustes noch sehr hoch ist,
- 2.) nach BICKEL (6, S.314) der Zusatz von Molybdän in chromhaltigen Legierungen eine Steigerung der Säureresistenz bewirkt und Molybdän in unseren Legierungen durch wiederholten Verguß angereichert wird, und schließlich
- 3.) die Co-Cr-Gußprothesen nur in poliertem und daher besonders resistentem Zustand in die Mundhöhle eingegliedert werden.

Die Gefahr der Korrosion ist nach QUINQUE (23, S.6) allerdings dann gegeben, wenn das Austenitgefüge nicht erreicht wurde oder zuviel Kohlenstoff das Gefüge stört. Um Gewißheit in dieser Frage zu erlangen, erscheint eine spezielle Untersuchung angezeigt, wie sie z.B. von QUINQUE (23, S.69) angegeben wird.

Jedenfalls kann den Härteuntersuchungen zufolge als gesichert gelten, daß die Veränderungen in der Zusammensetzung der Legierungen nach 10 Güssen die Härte der Gußobjekte nicht wesentlich beeinflussen. Daß Mangan offenbar nicht zur Härtesteigerung beiträgt, zeigen die Ergebnisse von

Verfahren Austenal:

Es ergab sich nur eine geringe Härtedifferenz zwischen erstem und letztem Guß, wobei Mangan bei Guß 1 in hoher und bei Guß 10 in sehr niedriger Konzentration vorlag. Auffällig ist, daß bei Verfahren Azetylen- O_2 ein beinahe totaler Manganabbbrand und der relativ größte Chromverlust erfolgten. Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, daß mit sachgemäß eingestellter Flamme erschmolzen und nicht überhitzt wurde; dies kommt letzten Endes in den Härtewerten sowie in dem fast unveränderten Kohlenstoffgehalt bei Guß 1 und 10 zum Ausdruck.

Für die Beurteilung der Gasgehalte liegen keine entsprechenden Untersuchungen an Kobalt-Chrom-Legierungen zum Vergleich vor. Nach RAPATZ (24, S.333) führt jedoch eine Sauerstoffzunahme bei Edelstählen zur Versprödung, die allerdings durch Kohlenstoff und Mangan aufgehoben wird, während eine Stickstoffanreicherung die Beständigkeit des austenitischen Gefüges erhöht und die Streckgrenze verbessert. Letzteres könnte eine Erklärung dafür sein, daß HARCOURT (19) bei Induktionsgüssen nach 12maligem Erschmelzen einen Anstieg der Streckgrenze beobachtete, da die eigenen Untersuchungen nach 10maligem Verguß eine Stickstoffzunahme zeigten. Auch diese Frage würde eine spezielle Prüfung erfordern.

8. ZUSAMMENFASSUNG.

Durch Härteuntersuchungen an wiederholt vergossenen Kobalt-Chrom-Legierungen wird festgestellt, daß die Härte der Gußobjekte sowohl von der Häufigkeit des Wiedervergießens als auch vom angewandten Gußverfahren beeinflußt wird.

Mit steigender Gußzahl sinkt die Härte, und gleichzeitig kommt es zu einer Annäherung der mit den verschiedenen Gußverfahren erzielten, anfangs unterschiedlichen, Härtewerte.

Die Auswertung von Schliffbildern ergibt, daß die Mikrostruktur durch wiederholtes Vergießen auffällig verändert wird, während der Reinheitsgrad der Legierungen nahezu unverändert bleibt.

Durch chemische Analysen wird gezeigt, wie die Zusammensetzung der Legierungen sowie ihre Gasgehalte durch häufiges Erschmelzen beeinflußt werden.

Die Untersuchungen ergaben, daß noch nach zehnmaligem Verguß - trotz auffällig veränderter Mikrostruktur und Zusammensetzung der Legierungen - Gußobjekte mit für prothetische Zwecke ausreichender Härte erzielt werden.

Die Differenzen der Ergebnisse, die durch Anwendung verschiedener Gußverfahren entstanden, sind zu gering, als daß für die Praxis einem bestimmten Verfahren hinsichtlich der erzielten Härteeigenschaften der Vorzug gegeben werden könnte.

9. ANHANG (Tabelle 4-69)

VERFAHREN 1: AZETYLEN O₂Härtemeßwerte Wironit

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
-------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

1. Guß

1	33	33	32	32	32
2	32	33	33	32	33
3	33	33	32	33	33
4	33	34	35	35	34
5	34	33	33	33	33

Tab.4

2. Guß

1	32	32	32	31	30
2	31	32	32	31	31
3	31	32	33	32	31
4	33	33	33	34	32
5	32	34	33	33	32

Tab.5

3. Guß

1	30	30	30	31	29
2	29	30	30	31	30
3	30	29	30	30	29
4	29	31	31	20	29
5	29	29	29	31	30

Tab.6

4. Guß

1	31	30	30	29	28
2	31	30	29	30	29
3	30	30	29	29	29
4	29	30	28	29	30
5	29	29	29	30	29

Tab.7

VERFAHREN 1: AZETYLEN O₂Härtemeßwerte Wironit

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
-------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

5. Guß

1	28	30	31	30	31
2	31	31	31	32	29
3	29	31	30	29	30
4	30	29	29	30	30
5	31	31	29	30	30

Tab.8

6. Guß

1	30	30	31	31	30
2	31	30	29	30	30
3	28	29	28	29	29
4	29	28	30	28	28
5	29	31	28	28	29

Tab.9

7. Guß

1	31	31	31	31	30
2	30	30	30	31	30
3	29	30	30	30	30
4	28	29	30	29	29
5	30	31	30	28	30

Tab.10

8. Guß

1	29	30	30	28	30
2	27	28	30	29	28
3	27	28	29	30	28
4	28	27	28	27	27
5	29	30	31	30	30

Tab.11

VERFAHREN 1: AZETYLEN O₂Härtemeßwerte Wironit

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
9. Guß					
1	29	29	29	30	30
2	29	30	29	30	30
3	28	28	27	28	28
4	27	28	28	26	28
5	29	30	29	30	30

Tab.12

10. Guß					
1	30	30	30	30	28
2	27	29	28	29	27
3	26	27	27	27	27
4	26	25	27	27	26
5	28	29	29	28	29

Tab.13

Härtemittelwerte Wironit

Mittelwerte aus den 5 Meßwerten						Mittelwerte aus
Probe						25 Meßwerten
Guß	1	2	3	4	5	(Probe 1-5)
1	32,4	32,6	32,8	34,2	33,2	33,04
2	31,4	31,4	31,8	33,0	32,8	32,08
3	30,0	30,0	29,6	30,0	29,6	29,84
4	29,6	29,8	29,4	29,2	29,2	29,44
5	30,0	30,8	29,8	29,6	30,2	30,08
6	30,4	30,0	28,6	28,6	29,0	29,32
7	30,8	30,2	29,8	29,0	29,8	29,92
8	29,4	28,4	28,4	27,4	30,0	28,72
9	29,4	29,6	27,8	27,4	29,6	28,76
10	29,6	28,0	26,8	26,2	28,6	27,84

Tab.14

VERFAHREN 1: AZETYLEN O₂Härtemeßwerte Vitallium

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
1. Guß					
1	39	39	38	38	38
2	37	37	37	37	38
3	38	38	38	37	39
4	38	37	38	37	37
5	37	37	37	37	38

Tab.15

2. Guß					
1	37	37	37	37	38
2	37	38	37	38	37
3	38	38	38	37	39
4	38	37	38	37	37
5	37	37	37	37	38

Tab.16

3. Guß					
1	34	35	35	36	35
2	34	33	35	34	34
3	33	33	33	35	33
4	35	35	33	33	33
5	34	35	33	33	33

Tab.17

4. Guß					
1	34	34	32	33	34
2	34	32	34	33	34
3	33	32	33	31	33
4	34	34	34	34	33
5	33	31	34	33	33

Tab.18

VERFAHREN 1: AZETYLEN O₂Härtemeßwerte Vitallium

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
5. Guß					
1	32	33	33	34	33
2	33	35	34	34	34
3	34	35	34	32	33
4	33	34	34	34	33
5	33	33	34	34	34

Tab.19

6. Guß					
1	33	34	32	34	33
2	33	33	33	35	32
3	34	34	34	34	33
4	34	32	33	35	33
5	33	34	34	34	35

Tab.20

7. Guß					
1	33	32	33	34	33
2	34	35	33	35	34
3	33	33	34	34	33
4	32	33	34	33	33
5	33	33	34	35	35

Tab.21

8. Guß					
1	33	34	32	34	34
2	34	32	35	35	34
3	32	33	34	33	33
4	32	33	32	33	33
5	34	34	34	34	34

Tab.22

VERFAHREN 1: AZETYLEN O₂Härtemeßwerte Vitallium

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
9. Guß					
1	34	32	32	32	32
2	33	33	33	33	33
3	33	33	33	34	34
4	33	34	32	34	32
5	33	34	33	33	33

Tab.23

10. Guß					
1	32	31	32	33	33
2	33	34	33	34	34
3	32	33	33	32	33
4	31	33	34	32	32
5	33	31	32	33	32

Tab.24

Härtemittelwerte Vitallium

Mittelwerte aus den 5 Meßwerten						Mittelwerte aus
	Probe					25 Meßwerten
Guß	1	2	3	4	5	(Probe 1-5)
1	38,4	38,2	38,4	38,4	38,4	38,36
2	37,2	37,4	38,0	37,4	37,2	37,44
3	35,0	34,0	33,4	33,8	33,6	33,96
4	33,4	33,4	32,4	33,8	32,8	33,16
5	33,0	34,0	33,6	33,6	33,6	33,56
6	33,2	33,2	33,8	33,4	34,0	33,52
7	33,0	34,2	33,4	33,0	34,0	33,52
8	33,4	34,0	33,0	32,6	34,0	33,40
9	32,4	33,0	33,4	33,0	33,2	33,00
10	32,2	33,6	32,6	32,4	32,2	32,60

Tab.25

VERFAHREN 2: AUSTENALHärtemeßwerte Wironit

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
1. Guß					
1	33	32	32	30	32
2	31	33	32	32	32
3	32	32	32	32	30
4	31	32	31	30	31
5	31	31	31	30	30

Tab.26

2. Guß					
1	29	30	30	30	30
2	30	29	31	29	30
3	31	31	30	31	30
4	30	31	30	31	31
5	31	32	32	31	30

Tab.27

3. Guß					
1	29	28	28	27	29
2	30	29	28	27	28
3	31	31	30	29	30
4	31	31	30	30	30
5	29	31	30	30	29

Tab.28

4. Guß					
1	30	29	31	29	30
2	29	30	29	30	30
3	31	30	29	30	31
4	31	29	30	29	31
5	31	29	30	29	31

Tab.29

VERFAHREN 2: AUSTENALHärtemeßwerte Wironit

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
5. Guß					
1	31	30	29	31	31
2	30	30	30	32	31
3	29	29	30	30	30
4	30	29	31	30	30
5	30	31	29	30	31

Tab.30

1	6. Guß				
1	30	29	30	29	31
2	31	30	30	30	29
3	29	30	31	29	30
4	28	30	29	30	30
5	28	31	29	31	29

Tab.31

7. Guß					
1	28	29	28	30	29
2	28	30	30	30	28
3	30	29	30	30	29
4	30	30	30	30	30
5	30	30	30	30	31

Tab.32

8. Guß					
1	30	30	29	30	28
2	30	29	30	30	28
3	30	29	30	30	29
4	30	30	28	29	30
5	30	31	30	30	30

Tab.33

VERFAHREN 2: AUSTENALHärtemesswerte Wironit

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
9. Guß					
1	29	28	29	29	30
2	29	30	29	30	29
3	28	29	30	30	29
4	30	30	30	29	28
5	31	30	30	29	29

Tab.34

10. Guß					
1	29	29	28	29	30
2	30	30	30	31	31
3	29	28	29	30	29
4	30	30	30	29	30
5	30	30	30	30	31

Tab.35

Härtemittelwerte Wironit

Mittelwerte aus den 5 Meßwerten						Mittelwerte aus
Probe						25 Meßwerten
Guß	1	2	3	4	5	(Probe 1-5)
1	31,8	32,0	31,6	31,0	30,6	31,40
2	29,8	29,8	30,6	30,6	31,2	30,40
3	28,2	28,4	30,2	30,4	29,8	29,40
4	29,8	29,6	30,2	30,0	30,0	29,92
5	30,4	30,6	29,6	30,0	30,2	30,16
6	29,8	30,0	29,8	29,4	29,6	29,72
7	28,8	29,2	29,6	30,0	30,2	29,56
8	29,4	29,4	29,6	29,4	30,2	29,60
9	29,0	29,4	29,2	29,4	29,8	29,36
10	29,0	30,4	29,0	29,8	30,2	29,68

Tab.36

VERFAHREN 2: AUSTENALHärtemeßwerte Vitallium

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
-------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

1. Guß

1	36	36	37	36	36
2	35	36	37	37	36
3	36	35	35	35	35
4	35	34	36	36	35
5	36	35	35	36	36

Tab.37

2. Guß

1	35	34	35	36	35
2	35	36	36	35	35
3	35	35	36	36	35
4	35	36	33	35	35
5	36	36	36	34	34

Tab.38

3. Guß

1	36	35	35	35	34
2	35	35	35	36	36
3	36	36	35	35	35
4	36	35	36	35	35
5	36	34	36	34	35

Tab.39

4. Guß

1	35	34	35	34	34
2	36	35	34	33	36
3	35	35	35	36	36
4	36	35	34	35	34
5	34	35	34	35	35

Tab.40

VERFAHREN 2: AUSTEMALHärtemesswerte Vitalium

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
5. Guß					
1	35	36	35	36	36
2	35	35	35	35	34
3	35	36	35	36	35
4	35	36	36	36	36
5	36	35	36	36	36

Tab.41

6. Guß					
1	35	34	36	37	37
2	36	36	36	36	34
3	36	36	36	36	37
4	36	36	36	37	35
5	35	35	36	36	37

Tab.42

7. Guß					
1	34	34	35	35	35
2	35	35	35	36	35
3	34	34	35	35	35
4	36	36	35	35	36
5	35	35	34	35	35

Tab.43

8. Guß					
1	34	35	35	35	35
2	35	33	33	36	35
3	35	34	34	34	34
4	33	34	34	35	35
5	35	35	35	35	34

Tab.44

VERFAHREN 2: AUSTENALHärtemeßwerte Vitallium

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
9. Guß					
1	34	35	34	33	34
2	34	34	34	34	35
3	35	35	35	35	35
4	34	35	35	35	35
5	33	35	34	34	35

Tab.45

10. Guß

1	33	35	35	33	33
2	33	34	35	34	36
3	33	34	35	35	35
4	33	33	34	33	35
5	35	35	36	34	35

Tab.46

Härtemittelwerte Vitallium

Mittelwerte aus den 5 Meßwerten

Probe

Mittelwerte aus

25 Meßwerten

(Probe 1-5)

Guß	1	2	3	4	5	
1	36,2	36,2	35,2	35,2	35,6	35,68
2	35,0	35,4	35,4	34,8	35,2	35,16
3	35,0	35,4	35,4	35,4	35,0	35,24
4	34,4	34,8	35,4	34,8	34,6	34,80
5	35,6	34,8	35,4	35,8	35,8	35,48
6	35,8	35,6	36,2	36,0	35,8	35,88
7	34,6	35,2	34,6	35,6	34,8	34,96
8	34,8	34,4	34,2	34,2	34,8	34,48
9	34,0	34,2	35,0	34,8	34,2	34,44
10	33,8	34,4	34,4	33,6	35,0	34,24

Tab.47

VERFAHREN 3: SAEDHärtemeßwerte Wironit

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
1. Guß					
1	36	37	36	36	36
2	36	37	37	36	36
3	35	35	36	35	35
4	36	35	34	35	35
5	35	34	36	35	34

Tab.48

2. Guß					
1	34	35	35	35	35
2	34	34	32	36	34
3	35	34	32	35	34
4	34	35	33	35	34
5	35	35	34	34	33

Tab.49

3. Guß					
1	34	34	35	34	33
2	33	34	33	33	34
3	34	32	32	33	32
4	33	32	33	32	32
5	33	32	33	32	33

Tab.50

4. Guß					
1	35	35	36	35	34
2	34	36	36	35	35
3	35	33	35	34	34
4	34	35	35	36	36
5	36	35	35	36	35

Tab. 51

VERFAHREN 3: SAEJHärtemeßwerte Wironit

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
5. Guß					
1	35	35	34	34	34
2	35	35	35	36	34
3	34	36	34	35	35
4	34	35	34	34	34
5	35	35	35	34	35

Tab.52

6. Guß					
1	32	32	32	32	33
2	33	33	32	32	32
3	32	32	33	33	32
4	32	32	33	33	32
5	33	34	33	34	33

Tab.53

7. Guß					
1	31	31	30	29	31
2	29	31	29	29	31
3	30	30	29	31	29
4	30	31	31	31	31
5	30	30	31	31	30

Tab.54

8. Guß					
1	31	31	32	31	31
2	30	32	31	32	30
3	30	31	30	31	30
4	32	31	31	33	30
5	31	31	32	31	31

Tab.55

VERFAHREN 3: SAEDHärtemeßwerte Wironit

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
9. Guß					
1	30	29	28	29	31
2	30	29	30	29	28
3	29	29	28	30	30
4	29	29	30	30	29
5	29	29	31	30	31

Tab.56

10. Guß					
1	28	28	28	29	29
2	29	29	28	28	28
3	27	29	28	29	27
4	28	27	28	27	27
5	29	30	28	29	29

Tab.57

Härtemittelwerte Wironit

	Mittelwerte aus den 5 Meßwerten					Mittelwerte aus
	Probe					25 Meßwerten
Guß	1	2	3	4	5	(Probe 1-5)
1	36,2	36,4	35,2	35,0	34,8	35,52
2	34,8	34,0	34,0	34,2	34,2	34,24
3	34,0	33,4	32,6	32,4	32,6	33,00
4	35,0	35,2	34,2	35,2	35,4	35,00
5	34,4	35,0	34,8	34,2	34,8	34,64
6	32,2	32,4	32,4	32,4	33,4	32,56
7	30,4	29,8	29,8	30,8	30,4	30,24
8	31,2	31,0	30,4	31,4	31,2	31,04
9	29,4	29,2	29,2	29,4	30,0	29,44
10	28,4	28,4	28,0	27,0	29,0	28,24

VERFAHREN 3: SAEDHärtemeßwerte Vitallium

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
-------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

1. Guß

1	38	38	39	38	38
2	39	38	38	39	38
3	38	39	39	38	38
4	40	39	39	39	39
5	39	38	38	38	39

Tab.59

2. Guß

1	37	38	38	37	36
2	39	38	38	37	38
3	39	38	38	37	39
4	37	38	39	38	38
5	39	38	38	38	37

Tab.60

3. Guß

1	39	38	37	38	38
2	39	38	39	38	38
3	38	38	39	38	38
4	38	39	38	37	37
5	39	38	38	38	38

Tab. 61

4. Guß

1	39	38	38	39	40
2	39	39	38	39	40
3	38	39	38	39	39
4	39	39	38	38	40
5	38	38	38	39	39

Tab. 62

VERFAHREN 3: SAEDHärtemeßwerte Vitallium

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
5. Guß					
1	38	38	39	39	38
2	40	39	38	38	38
3	39	38	38	39	38
4	38	37	38	39	39
5	38	38	38	39	37

Tab.63

6. Guß					
1	38	38	38	38	37
2	38	37	37	38	37
3	37	38	38	37	37
4	37	37	37	36	37
5	38	37	37	37	38

Tab.64

7. Guß					
1	36	37	37	37	37
2	36	37	37	37	38
3	36	36	36	35	36
4	36	37	35	36	36
5	37	36	37	37	38

Tab.65

8. Guß					
1	36	36	36	37	36
2	36	36	35	35	35
3	36	37	35	36	35
4	36	36	35	35	35
5	36	35	37	37	36

Tab. 66

VERFAHREN 3: SAEHärtemeßwerte Vitallium

Probe	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC ₅
9. Guß					
1	35	36	35	37	36
2	35	34	34	33	34
3	36	34	36	35	35
4	34	34	33	34	33
5	34	33	34	34	34

Tab. 67

10. Guß					
1	35	34	36	36	35
2	31	32	31	31	30
3	33	35	34	33	35
4	33	33	34	33	32
5	33	32	32	32	31

Tab. 68

Härtemittelwerte Vitallium

Mittelwerte aus den 5 Meßwerten						Mittelwerte aus
Probe						25 Meßwerten
Guß	1	2	3	4	5	(Probe 1-5)
1	38,2	38,4	38,4	39,2	38,4	38,52
2	37,2	38,0	38,2	38,0	38,0	37,88
3	38,0	38,4	38,2	37,8	38,2	38,12
4	38,8	39,0	38,6	38,8	38,4	38,72
5	38,4	38,6	38,4	38,2	38,0	38,32
6	37,8	37,4	37,4	36,8	37,4	37,36
7	36,8	37,0	35,8	36,0	37,0	36,52
8	36,2	35,4	35,8	35,4	36,2	35,80
9	35,8	34,0	35,2	33,6	34,2	34,56
10	35,2	31,0	34,0	33,0	32,0	33,04

Tab. 69

10. LITERATURVERZEICHNIS

1. AGTE, C. Wolfram und Molybdän.
VACEK, J. Berlin 1959, S. 269.
2. American Dental Association specification No 14
for dental chromium-cobalt alloy.
Guide to dental materials. Chicago 1964, S. 123.
3. ANDREAS, M. Die physikalischen Vorgänge beim
Induktions-Schmelzverfahren.
Dtsch.Stomat. 11, 499 (1961)
4. ASGAR, K. Effect of microstructure on the physi-
PEYTON, F.A. cal properties of cobalt-base alloys.
J.den.Res. 40, 63 (1961)
5. ASGAR, K. Effect of casting conditions on some
PEYTON, F.A. mechanical properties of cobalt-base
alloys.
J.dent.Res. 40, 73 (1961)
6. BICKEL, E. Die metallischen Werkstoffe des
Maschinenbaues. Berlin 1964, S. 144,
195, 314.
7. CARTER, T.J. The precision casting of cobalt-Chromium
KIDD, I.N. alloy. Part 1: The influence of casting
variables on dimensions and finish.
Brit.dent.J. 118, 383 (1965)
8. CARTER, T.J. The precision casting of cobalt-chromium
KIDD, I.N. alloy. Part 2: The influence of casting
variables on microstructure and mechanical
properties.
Brit.dent.J. 118, 431 (1965)

9. DIERGARTEN, H. Gefügerichtreihen im Dienste der Werkstoffprüfung in der stahlverarbeitenden Industrie.
Düsseldorf 1951, S. 13.
10. DIN. Deutscher Normenausschuß, Taschenbuch 19.
Materialprüfnormen für metallische Werkstoffe.
Berlin 1966, S. 74.
11. DUDECK, I. Vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung des korrekten F-Tests bei gemischten partiell-hierarchischen Modellen der Varianzanalyse. 14. Kolloquium der biometrischen Gesellschaft Bad Nauheim 1967.
Vortrag. Masch.vervielf.
12. EBERSBACH, W. Struktur und mechanische Eigenschaften
GEHRE, G. von Chrom-Kobalt-Legierungen in Ab-
LECKERT, K. hängigkeit von der Abkühlungsgeschwindigkeit des Gußblockes.
Dtsch.Stomat. 19, 338 (1969)
13. ELBERT, CH.A. The effect of heat-treatment on hartness
RYGE, G. of a chromium-cobalt alloy.
J.prosth.Dent. 15, 873 (1965)
14. ELBRECHT, H.-J. in K.Eichner: Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihre Verarbeitung.
Berlin 1967, S. 223.
15. FUCHS, K.-D. Der Einfluß der Gußapparate auf die Qualität des zahnärztlichen Gusses.
Med.Diss.Mainz 1967, S. 40.
16. HARCOURT, H.J. An investigation into oxy-acetylene melting of chrome-cobalt alloys and its effects on surface texture and homogeneity in castings.
Brit.dent.J. 108, 139 (1960)

17. HARCOURT, H.J. The remelting of cobalt-chromium alloys.
Brit.dent.J. 112, 198 (1962)
18. HARCOURT, H.J. The effects of variation in cooling rates and heat-treatment on cobalt-chromium alloys.
Brit.dent.J. 116, 475 (1964)
19. HARCOURT, H.J. Induction melting of cobalt-chromium alloys. A comparison with flame melting.
COTTERILL, W.F. Brit.dent.J. 118, 323 (1965)
20. HAUPTMEYER, Fr. Über das Gußmetall Vitallium.
Dtsch.zahnärztl.Wschr. 39, 108 (1936)
21. KUNTER, P.J. Studie zum Modell-Einstückguß an Hand röntgendefektographischer Untersuchungen auf Lunkerfreiheit.
Med.Diss.Frankfurt a.M. 1969, S. 49.
22. LANE, J.R. A survey of dental alloys.
J.Amer.dent.Ass. 39, 414 (1949)
23. QUINQUE, J. Die Struktur einer Kobalt-Chrom-Molybdän-Legierung in Abhängigkeit von der Gußmethode.
Med.Diss.Halle-Wittenberg 1955.
24. RAPATZ, F. Die Edelstähle.
Berlin 1962, S. 333, 866.
25. SCHILLER, Fr. Das Schmelzen von Chrom-Kobalt-Legierungen mit bes.Ber.der Lindner-Schleuder.
Zahnärztl.Prax. 17, 183 (1966)

26. WEBER, ERNA Grundriß der biologischen Statistik.
Stuttgart 1967, S. 258, 260.
27. WEIKART, P. Werkstoffkunde für Zahnärzte.
München 1966, S. 123.

11. VERZEICHNIS DER TABELLEN UND ABBILDUNGEN.

Tabellen	Seite
1	17
2	18
3	19
4-69	74-91
70	38
71-73	39
74, 75	40
76, 77	41
78, 79	42
80, 81	43
82, 83	44
84	54
85	55
86, 87	64
88	66
Abbildungen	Seite
1	20
2	45
3	46
4	47
5	48
6	49
7-9	50
10-12	51
13, 14	52
15-18	56
19-22	57
23-26	58
27-30	59
31-34	60
35-38	61
39	65

Herrn Professor Dr. H. Marx möchte ich an dieser Stelle sowohl für die Überlassung des Themas als auch für seine wertvollen Anregungen und seine Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit meinen Dank aussprechen.

Herrn Dr. Scheidt danke ich für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung des Zahlenmaterials.

L E B E N S L A U F

Am 7. April 1942 wurde ich als Sohn des Studienrates Heinrich Stöckinger und seiner Ehefrau Elisabeth, geb.Heil, in Tauberscheidt geboren.

1948 übersiedelte meine Familie nach Karlsruhe, wo ich 1961 am dortigen humanistischen Bismarck-Gymnasium die Reifeprüfung ablegte.

Im Februar 1959 verstarb meine Mutter.

Vom Frühjahr 1961 bis zum Sommer 1962 leistete ich meinen Grundwehrdienst bei der Bundeswehr ab und wurde nach zwei Wehrübungen zum Leutnant der Reserve befördert.

Nach fünf-semestrigem Jurastudium an der Universität Heidelberg begann ich im Sommersemester 1965 mit dem Studium der Zahnheilkunde an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz. Dort legte ich am 20.4.1966 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und am 12.4.1968 die zahnärztliche Vorprüfung ab. Am 18.12.1970 bestand ich das Staatsexamen.

Am 19.7.1968 verheiratete ich mich mit Fräulein Annelies Tietze, Diplom-Bibliothekarin, und übersiedelte nach Nieder-Olm, Kreis Mainz.

Am 11.10.1968 verstarb mein Vater.

Seit dem 1.Februar 1971 bin ich als Zahnarzt in Darmstadt tätig.

